

UNTERSUCHUNGEN ZUR NATÜRLICHEN VERJÜNGUNG
DER KIEFER (*Pinus sylvestris* L.)
IN BAYERN
(MITTELFRANKEN, OBERFRANKEN UND OBERPFALZ)

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

Vorgelegt von
Rudi Arno Seitz

November 1979

1980

**UNTERSUCHUNGEN ZUR NATÜRLICHEN VERJÜNGUNG
DER KIEFER (*Pinus sylvestris* L.)
IN BAYERN
(MITTELFRANKEN, OBERFRANKEN UND OBERPFALZ)**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München



Vorgelegt von
Rudi Arno Seitz

November 1979



Berichterstatter: Prof. Dr. P. Burschel

Prof. Dr. F. Franz

Prof. Dr. K. Kreutzer

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Februar 1980

Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes.

V O R W O R T

Die Baumart Kiefer spielt in der Bayerischen Forstwirtschaft eine wichtige Rolle. Angesichts früherer Untersuchungen in jungen Kiefernökosystemen und einem zunehmenden ökologischen Bewußtsein wurde im Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung der Universität München die Möglichkeit der Kiefern timer verjüngung wieder aufgegriffen.

Ich danke Herrn Prof. Dr. P. BURSCHEL für die Anregungen zu dieser Untersuchung und für seine stete Beratung, ohne die die V ollendung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Der Bayerischen Staatsforstverwaltung ist in mehrfacher Hinsicht zu danken. Ohne ihre Unterstützung wäre die Durchführung dieser Untersuchung unmöglich gewesen. So hat Herr Ministerialrat Dr. O. SEITSCHEK das Forschungsvorhaben von Anfang an gefördert. Die Herren Waldbaureferenten der Oberforstdirektionen Bayreuth und Regensburg, Ltd. FDir. P. LANG und F. WAGNER unterstützten uns wesentlich bei der Vorauswahl der Flächen und endgültigen Festlegung der Untersuchungsobjekte. Zu einem reibungslosen Ablauf der Außenaufnahmen schließlich verhalfen mit ihren Mitarbeitern die Amtsvorstände, die Herren FDir. O. BERGHAMMER/FA. Pfreimd, H. ELBMANN/FA. Pegnitz, R. ENGLERT/FA. Amberg, W. GÜTZ/FA. Bamberg, S. GOLLINGER/FA. Waldsassen, K. HÖLLERER/FA. Selb, H. HORNEBER/FA. Erlangen, R. MAIER/FA. Burglengenfeld und E. ZAHN/FA. Mitterteich.

Bei der Abklärung einiger methodischer Fragen stand mir Herr Prof. Dr. F. ZÖHRER beratend zur Seite, wofür ich ihm sehr verbunden bin. Dankenswerterweise stellten mir auch die Herren Prof. Dr. H. SCHULZ und Prof. Dr. K.-E. REHFUESS Maschinen und Laboreinrichtungen ihrer Institute zur Verfügung.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei allen Mitarbeitern des Waldbauinstituts, insbesondere bei Herrn H. EL KATEB, der unermüdlich bei den Außenaufnahmen und der Ablochung der Daten half, Herrn G. HÖGEL für die Erstellung der Abbildungen, Herrn H. SCHMIDT für die Beschreibung der Bodeneinschläge und Frau K. RITTLER für die Schreibearbeiten.

Ganz besonderen Dank schulde ich Herrn Prof. Dr. J. HUSS für die Durchsicht meines Manuskriptes und für die zahlreichen Anregungen.

Die Realisierung dieser Forschungsarbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft durch eine großzügige Sachbeihilfe gefördert. Die Kosten meines Aufenthaltes in der Bundesrepublik Deutschland trug die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. Beiden Institutionen bin ich sehr dankbar.

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
Vorwort	
1. <u>Einleitung, Literatur und Fragestellung</u>	1
1.0 Einleitung	1
1.1 Literaturüberblick	3
1.2 Die Kiefernaturverjüngung in Bayern	6
1.3 Aufgabenstellung für die eigenen Untersuchungen	8
2. <u>Arbeitsmethodik</u>	10
2.1 Auswahl der untersuchten Bestände	10
2.2 Methoden der Inventur	10
2.21 Flächenstichproben	11
2.22 Bestockte Quadrate	11
2.23 Punkt- oder Linienstichproben	12
2.24 Abstandsverfahren	14
2.3 Verwendete Methoden	14
2.31 Die Aufnahme des Altholzes	16
2.311 BITTERLICH-Punktstichproben	16
2.312 Struktur von Bestand und Schirm	16
2.32 Aufnahme des Jungwuchses	17
2.321 Anwendung der Abstandsverfahren	17
2.322 Beschreibung der jungen Bäume	17
2.323 Analyse der grössten Kiefer im Aufnahmekreis	18
2.33 Beschreibung der Standorte	18
2.331 Allgemeine Standortsverhältnisse	18
2.332 Ansprache des Kleinstandortes	19
2.34 Datenerhebung und -verarbeitung	20
2.4 Arbeitsablauf	20

	Seite
3. <u>Beschreibung der untersuchten Bestände</u>	22
3.1 Lage und Bezeichnung der untersuchten Bestände	22
3.2 Die Standorte	22
3.3 Die Bestände	27
3.4 Die Bestandeschronik	33
3.5 Bestimmung der Überschirmung	36
3.51 Untersuchung der Korrelation zwischen der Grund- fläche und der Kronenprojektionsfläche	37
3.52 Bestimmung der Überschirmung mit Hilfe der Grundfläche	40
4. <u>Ergebnisse der Probekreisauszählung</u>	43
4.1 Die Pflanzendichten	43
4.2 Die Verteilung der Pflanzen auf den Flächen	47
4.3 Die Altersstruktur der untersuchten Natur- verjüngungen	55
4.31 Methode der Altersschätzung und ihre Überprüfung	55
4.32 Die Altersverteilung der jungen Kiefern	56
4.4 Morphologische Merkmale des Jungwuchses	65
4.41 Die Differenzierung der Pflanzenhöhe	65
4.42 Die Korrelation von Höhen- und Durchmesserwerten	71
4.5 Kriterien zur Beurteilung der Entwicklungstendenz und Qualität von jungen Kiefern	78
4.51 Der jährliche Höhenzuwachs	78
4.52 Die Schaftform	84
4.53 Die Anzahl, Stärke und Länge der Äste	86
4.531 Die Astzahl	86
4.532 Der Ästigkeitsquotient	90
4.533 Die Kronenausprägung, dargestellt mit Hilfe des Astlängenquotienten	93
4.54 Die Krümmung der Schäfte	95
4.55 Die Ausformung des Wurzelsystems	99

4.6	Die oberirdische Biomasse von einzelnen Kiefern und Kiefernjungwüchsen	102
4.61	Nadelbiomassenregressionen	103
4.62	Holz- und Rindentrockenmassenregressionen	103
4.63	Oberirdische Biomasse von Kiefernjungwüchsen	106
4.7	Der Kleinstandort in den Probekreisen	110
4.71	Die Humusaufgabe	110
4.711	Die Zusammensetzung der Humusaufgabe	110
4.712	Die Mächtigkeit der Humusaufgabe	112
4.72	Der Bodenzustand und die Beschaffenheit der Bodenoberfläche	114
4.73	Die Bodenvegetation auf den Verjüngungsflächen	117
5.	<u>Abhängigkeit der Verjüngungsentwicklung vom Standort und von waldbaulichen Maßnahmen</u>	123
5.1	Der Einfluß der Überschirmung auf die Entwicklung des Jungwuchses	123
5.11	Der Einfluß des Schirms auf die Pflanzendichten	124
5.12	Der Einfluß des Schirms auf das Alter der Jungkiefern	126
5.13	Die Beeinflussung der maximalen Pflanzenhöhe durch die Überschirmung	127
5.14	Die Beeinflussung der jährlichen Höhenzuwächse durch den Schirm des Altholzes	128
5.15	Die Beeinflussung des Schlankheitsquotienten durch die Überschirmung	132
5.16	Der Einfluß der Überschirmung auf die Nadel-trockenmassenproduktion	133
5.17	Der Einfluß der Überschirmung auf die Holz- und Rindentrockenmassenakkumulation	135
5.2	Der Einfluß verschiedener Kriterien des Bodenzustands auf das Ankommen und die Entwicklung der Kiefernaturverjüngung	136
5.21	Humusaufgabe und Naturverjüngung der Kiefer	137

	Seite
5.211 Die Art der Humusaufgabe	137
5.212 Der Einfluß der Mächtigkeit der Humusaufgabe auf Ansamung und Fußfassen der Kiefer	140
5.22 Bodenoberfläche und Naturverjüngung	143
5.221 Veränderung des Zustands der Bodenoberfläche	143
5.222 Das Kleinrelief und die Verjüngung	146
5.3 Der Einfluß der Bodenvegetation auf das Ankom- men und Fußfassen der Naturverjüngung	148
5.4 Waldbauliche Folgerungen	152
6. <u>Diskussion der Ergebnisse und Folgerungen für die Praxis</u>	154
6.1 Beantwortung der dieser Untersuchung zugrunde liegenden Fragestellungen	154
6.2 Vorschläge für die Praxis	159
6.3 Wertung der Untersuchungsmethode und Anregungen für weitere Arbeiten	162
7. <u>Zusammenfassung</u>	164
<u>Literaturverzeichnis</u>	167
<u>Anhang</u>	

1. Einleitung, Literatur und Fragestellung

1.0 Einleitung

Die Baumart Kiefer hat einen Anteil von 25,5 % an der Waldfläche von Bayern. Von den Kiefernbeständen sind 13 % älter als 100 Jahre, was flächenmäßig 71.600 ha entspricht (FRANZ und KENNEL, 1973). Diese Bestände erreichen bald Hiebsreife, und es muß rechtzeitig überlegt werden, wie sie verjüngt werden sollen, da von dieser Entscheidung ihre weitere Behandlung abhängt.

Bei Kunstverjüngungen mit Kahlschlag und Bodenbearbeitung sind in der Regel keine besonderen waldbaulichen Maßnahmen vor der Räumung notwendig, um zufriedenstellende Verjüngungen zu bekommen. Durch die Bodenbearbeitung werden nahezu ideale Entwicklungsbedingungen für die Kiefer geschaffen.

Die Untersuchungen der Biomassenproduktion und Bioelementverteilung in künstlich geschaffenen jungen Kiefernökosystemen von BURSHEL et al. (1977) haben jedoch Ergebnisse gebracht, die eine Überprüfung der waldbaulichen Verfahren bei der Bestandesbegründung in der Kiefernwirtschaft fordern. Beim Vergleich von Kiefernkulturen auf unbearbeiteten, gefrästen und gepflügten Böden fanden sie nämlich nach 8 Vegetationsperioden einen deutlichen Produktionsvorsprung der Pflanzen auf den behandelten Flächen, aber wie sich dann herausstellte, war dies nicht einer Verbesserung der standörtlichen Produktionskraft zuzuschreiben. Hauptursache dieses Vorsprungs dürfte die Ausschaltung der Konkurrenz der Bodenvegetation gewesen sein, aber auch ein höheres Nährstoffangebot durch die stärkere Mineralisierung der Humusaufgabe nach der Bodenbearbeitung. Gegenüber den noch mit Altholz bestockten Flächen mußten im Boden der bearbeiteten Flächen Humusverluste und Stickstoffverluste hingenommen werden (Tab. 1). Ein Teil dieser Verluste wurde in der Phytomasse akkumuliert, doch konnte EDER (1975) bei vorausgegangenen Untersuchungen auf Lehm Böden keinen Einfluß der Bodenbearbeitung auf

Bodenbehand- lungsart	C-Verluste		Stickstoffverluste	
	t/ha	in % der Ausgangsmenge	kg/ha	in % der Ausgangsmenge
Unbehandelt	20	29	440	14
Gefräst	22	31	930	31
Gepflügt	31	40	660	22

Tab. 1 - Verluste von Kohlen- und Stickstoff eines Lehmbo-
dens nach Abräumen des Altbestands und darauffol-
genden Bodenbehandlungen (aus BURSCHEL et al., 1977).

die gesamte Phytomassenproduktion des Ökosystems (von 21,0 bis 22,5 t/ha) nachweisen. Allerdings ist die Verteilung der Bio-
massen auf oberirdische Baumteile, Bodenvegetation, Baum- und
Feinwurzeln je nach Bodenbehandlung verschieden. Auch bei der
Stickstoffakkumulation in der gesamten Phytomasse ließen sich
keine sehr großen Unterschiede zwischen den Behandlungen (von
127 bis 154 kg/ha) feststellen.

Diese Resultate lassen die viel diskutierten Dauerwaldthesen
von MÖLLER (1922) und WIEBECKE (1924), in denen sie großen Wert
auf die Naturverjüngungswirtschaft legen, in neuem Lichte er-
scheinen. Beide Autoren berichten nämlich von einer Steigerung
der Bodenfruchtbarkeit nach Aufgabe des Kahlschlagbetriebs. Sie
berichten außerdem von Ertragssteigerungen, da bei der Einzel-
stammwirtschaft der Zuwachs von Bäumen besserer Qualität, die
länger stehen bleiben, ausgenutzt werden kann. Die Diskussion
die sich über den "Dauerwald" entfachte, hat weder eine Ver-
besserung der Bodenfruchtbarkeit noch den Erfolg der Naturver-
jüngung in Frage gestellt.

Trotzdem wird die Naturverjüngung bei der Kiefer in der mittel-
europäischen Forstwirtschaft überraschend wenig ausgenutzt und
hat in der Gegenwart keine führende Stellung unter den Bestandes-
begründungsverfahren. Die Schwierigkeiten bei der Räumung des
Altholzes, die Ungleichheit des Jungwuchses und das unter Schirm

oft langsame Wachstum zwingen den Wirtschaftler, auf einfachere Verfahren der Bestandesbegründung auszuweichen.

In der vorliegenden Arbeit soll anhand eigener Untersuchungen dargestellt werden, wie die Kiefernjungwüchse aus Naturverjüngung in Wirklichkeit aussehen und welche Maßnahmen erforderlich sind, um eine Zufriedenstellende Anzahl guter Bäume pro Hektar zu bekommen. Als Untersuchungsgebiet wurde Nordbayern ausgewählt, da dort die Kiefer eine wirtschaftlich relevante Baumart ist.

1.1 Literaturüberblick

Über die Naturverjüngung der Kiefer ist viel geschrieben worden. Eine Analyse sämtlicher Beiträge würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. OLBERG (1957) hat eine solche Literaturübersicht angefertigt. Hier sollen nur einige besonders interessante Arbeiten herausgestellt werden.

Als erster sei WIEDEMANN (1926) genannt. Er hat die Naturverjüngung der Kiefer in der Umgebung von Bärenthoren untersucht, um die Frage zu klären, ob waldbauliche Maßnahmen oder der Standort Voraussetzung für die Naturverjüngung sind. Sein Schluß lautet - "Die auffallende Verjüngungsfreudigkeit des größten Teils des Bärenthorener Reviers ist nicht ausschließlich oder vorwiegend eine Folge der Dauerwaldwirtschaft, sondern eine solche der natürlich ursprünglich gegebenen Standortseigentümlichkeiten in der ganzen dortigen Gegend".

Nach Aufgliederung des Untersuchungsgebiets in drei Standortstypen stellte er fest, daß Sande mit einer feinkörnigen Decke eine gute Moosflora und leichte Kiefern naturverjüngung haben, es fehlen auf diesen Standort Graswuchs, Beerkraut und Trockentorf. Trockene Sandböden ohne solche Deckschichten scheinen zu arm und zu trocken zu sein, um zwei Kiefern generationen zu tragen. Auf den besseren Böden ist die Konkurrenz von Gras und Heidelbeere so groß, daß die jungen Kiefern stark behindert werden.

Weiter beschäftigte er sich mit den Merkmalen der Schatten- und Halbschattenkiefern im Vergleich mit Kulturen auf Freiflächen.

Seine Messungen haben zu Erkenntnissen geführt, die später oft bestätigt wurden.

Diese können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

- Schattenkiefern sind besonders feinästig und schlank,
- durch Dichtstand auf der Freifläche kann genügende Feinästigkeit und Schlankheit erreicht werden,
- die Auflichtung des Schirms fördert zuerst den Stärkenzuwachs,
- unter Lichtmangel wird die Massenproduktion verringert bis auf 20 % der Jungkiefern auf Freiflächen,
- die Beschädigung des Jungwuchses unter Schirm ist durch Fäll- und Rücken sehr hoch.

Stärker als WIEDEMANN hat sich WITTICH (1955) mit den Standortsverhältnissen bei der Kiefern naturverjüngung befaßt. Er untermauert dessen Aussagen mit bodenphysikalischen Untersuchungen, hauptsächlich in bezug auf die hydrologischen Eigenschaften. In der norddeutschen Ebene (Bärentoren-Eberswalde) liegt die jährliche Niederschlagsmenge zwischen 500 und 550 mm. Dadurch wirkt der Wasserhaushalt der oberen Bodenschichten ausschlaggebend auf die Verjüngung ein. Kommt es zu längeren Trockenperioden, so trocknet die obere Bodendecke leicht aus, was zum Vergehen der flachwurzeligen Verjüngungspflanzen führt. Die Bodenvegetation beeinflusst hauptsächlich den Wasserhaushalt des Oberbodens. So ist eine Hypnumdecke verdunstungshemmend und positiv für die Verjüngung, während auf den besseren Standorten sich nach Auflichtung Gräser und Sträucher mit höheren Transpirationsraten einfinden und der Kiefer das Wasser entziehen. Durch Beseitigung der Bodenflora mittels Vollumbruch und Grubbern kann man solche Standorte aber für eine Naturverjüngung vorbereiten.

Die Untersuchungen von OLBERG (1957) im Forstamt Gartow befassen sich hauptsächlich mit der Abhängigkeit der Ansamung der Kiefer von der Bodenflora. Zusammenfassend kam er zu den folgenden Ergebnissen über den Verlauf der Naturverjüngung auf Flächen, die den verschiedenen Florentypen zuzuordnen sind:

- Bei Flechten- oder Heidetypen beginnt die Verjüngung ab Bestockungsgrad 0,7 und entwickelt sich relativ langsam, da diese Standorte eine schlechte Wasserversorgung haben.

- Beim Moos- und Airatyp setzt die Verjüngung schon bei Bestockungsgraden von 1,0 - 0,9 ein.
- Der Beerkrauttyp ist ungünstig für die Verjüngung. Nur in Lücken der Bodenvegetation kann eine Ansamung stattfinden.
- Die Verjüngung beim Moliniatyp ist nur möglich, wenn die Ansamung stattfindet ehe die Bodenvegetation zu hohe Deckungsgrade erreicht hat.
- Die verschiedenen Moosarten haben kein Einfluß auf die Ansamungsmöglichkeiten innerhalb der einzelnen Gesellschaftstypen.

Weiterhin wurde von OLBERG auch die Samenproduktion, der Samenflug und die Keimfähigkeit der Samen untersucht. Anhand von Samenfängen und Probeflächen mit unterschiedlicher Behandlung der Oberflächen konnte er nachweisen:

- bei besserer Ertragsklasse und Grundwasserversorgung steigt die Samenproduktion,
- der Samenflug wird durch Wärmeperioden im Spätwinter und Frühjahr ausgelöst und
- für eine gute Keimung und Entwicklung der Keimlinge muß der Sommer feucht sein, doch bringt dies Gefahr für Schütteinfektionen.

Weitere Untersuchungen haben immer wieder gezeigt, wie schwer es ist, allgemein gültige Regeln für die Kiefern naturverjüngung aufzustellen. So wurden verschiedene Schirmstellungen und die Zeiträume bis zur endgültigen Freistellung des Kiefern junghes untersucht. VOGELI (1954) und HUNZIKER (1956) sind für langsame Auflichtung, HEGGEMANN und MEHLITZ (1970) dagegen befürworten eine rasche Abräumung des Altbestands bei Übernahme der Verjüngung.

Über die Beziehungen zwischen Schirm, Samenproduktion und Verjüngung berichten HAGNER (1965) aus Finnland, STEVEN und CARLISLE (1959) aus England. Nach Angaben von ROHMEDER (1972) hat die Kiefer im Durchschnitt innerhalb eines Jahrzehntes nur einmal eine Vollmast. Die jährliche Samenproduktion ist aber immer hoch genug um vom Samenangebot her eine gute Verjüngung zu gewährleisten.

Viel untersucht wurde weiterhin der Einfluß des Schirms auf die Lichtverhältnisse im Bestand sowie die Konsequenzen für die Verjüngung in bezug auf Pflanzenzahlen, Höhen- und Qualitätsentwicklung (VOEGELI, 1954; HUNZIKER, 1956; STEVEN und CARLISLE, 1959; KLEIN, 1964; KRÄUTER, 1967; BRECHTEL, 1969; LEHTO, 1969; KWASNITSCHKA, 1972; BØRSET, 1976). Übereinstimmend wird der negative Effekt des dichten Schirms auf die Verjüngung erkannt. Dieser hat zwar kein direkten Einfluß auf die Pflanzendichte, reduziert das Höhenwachstum aber vielfach stark. Im allgemeinen wird unter Schirm allerdings eine bessere Qualität der Jungkiefern erreicht.

Der Boden und die Bodendecke sind auch immer wieder im Zusammenhang mit der Verjüngung untersucht worden. KLEIN (1964) hat in der DDR Kiefern naturverjüngungen hauptsächlich auf mäßig trockenen bis trockenen Böden vorgefunden. HUNZIKER (1956) und BRECHTEL (1962) haben die Bodenfeuchtigkeit gemessen und einen positiven Zusammenhang mit der Keimung und den Pflanzenzahlen festgestellt, d.h. bei zunehmender Bodenfeuchtigkeit stieg die Pflanzendichte.

Die Bearbeitung des Bodens kann die Ansamung und Anfangsentwicklung der Kiefern sämlinge ebenfalls wesentlich fördern, und zwar entweder durch Beseitigung der Streuauflage (YLI-VAKKURI, 1961; HAGNER, 1965; LEHTO, 1969; MALCOLM, 1976) oder durch Zerstörung der konkurrierenden Bodenvegetation (STEVEN und CARLISLE, 1959; LEIBUNDGUT, 1964; HUNZIKER, 1956).

1.2 Die Kiefern naturverjüngung in Bayern

Nach den Darstellungen von REBEL (1924) gibt es keine großen Schwierigkeiten bei der Naturverjüngung der Kiefer im Bayerischen Raum, vorausgesetzt, daß der Wirtschaftler die richtigen Maßnahmen durchführt. Er zitiert als Beispiel die Verjüngung von Kiefernbeständen bei Nieder- und Oberarnbach in der Donaubene.

Für diese Standorte schlägt er folgende Verfahren zur Erlangung einer Naturverjüngung vor:

- Abzug der Moosdecke unter dichtem Schirm,
- erste Auflichtung nach 2 Jahren,
- stetiges gleichmäßiges Auflichten nach Ankommen der Verjüngung, bis nach 7-9 Jahren die Endstellung mit etwa 15-25 Überhältern erreicht wird.

Dies sind aber keine allgemein gültigen Regeln, da Boden und Klima großen Einfluß auf die Behandlung jedes einzelnen Bestandes in bezug auf die Verjüngung haben.

Mit der Weiterentwicklung der Bodenbearbeitungsverfahren ergaben sich auch neue Möglichkeiten zur Einleitung von Kiefern-
naturverjüngungen. ROTTMANN (1966) beschreibt die verjüngungsfördernden Maßnahmen, die in den sechziger Jahren in Niederarnbach durchgeführt wurden. Sie unterscheiden sich sehr von den bereits von REBEL (1924) beschriebenen, da durch eine Bodenbearbeitung mit Bodenfräse vor der ersten Auflichtung die Konkurrenzflora beseitigt wird und nach gleich folgender Reduzierung des Bestockungsgrades auf 0,2 der Anflug gute Entwicklungsmöglichkeiten hat. Nach und nach wird dann weiter aufgelichtet, bis nur die Überhälter stehenbleiben.

KOCH (1968) berichtet über die Kiefern-
naturverjüngung im Alpenvorland. Er beobachtete reichlichen Anflug auf Böden mit mäßiger Wasserversorgung, auf denen das Wachstum der Konkurrenzflora gehemmt ist. Nach Auflichtung beginnt die Ansamung und, wenn die Pflanzen Kniehöhe erreicht haben, wird weiter aufgelichtet, bis die Entfernung zwischen den Altkiefern 12-15 m beträgt, was etwa 50-60 Überhältern pro Hektar entspricht. Die Moderauflage ist in den meisten Beständen zwischen 1 und 2,5 cm stark, doch auch stärkere Auflagen erlauben noch die Ansamung, vorausgesetzt, daß eine bessere Wasserversorgung gegeben ist.

Erwähnt sei noch das Pegnitzer Verfahren zur Einleitung der Kiefern-
naturverjüngung (LANG, 1977). In groben Zügen ähnelt es den schon beschriebenen, setzt aber mehr Hilfsmittel ein.

Beim Pegnitzer Verfahren wird wie folgt vorgegangen:

- Auflichten des Bestandes durch Entnahme von 1/3 der Bestandesmasse in zwei Eingriffen,
- Bodenbearbeitung mit Scheibenegge, Düngung, Zäunung, Einsaat von Hilfspflanzen und Einbringen von Laubhölzern,
- Nachlichten des Bestandes, bis nach 5 - 10 Jahren der endgültige Überhalt erreicht worden ist.

Falls sich keine Verjüngung einstellt, wird die Kiefer künstlich eingebracht. Dieses Verfahren wird seit einigen Jahren im Forstamt Pegnitz angewandt, und die positiven Ergebnisse deuten an, daß dort weiterhin die Kiefer vorwiegend natürlich verjüngt werden kann.

1.3 Aufgabenstellung für die eigenen Untersuchungen

Bei der Suche nach Argumenten für die Entscheidung zugunsten der Natur- oder aber Kunstverjüngung stößt man einerseits auf Lücken in der Literatur, andererseits besteht auf seiten der Praktiker eine gewisse Zurückhaltung gegenüber der Kiefern Naturverjüngung. Sie wird damit begründet, daß solche Jungwüchse lückenhaft seien, ihr Aufbau ungleich ist, sie sehr labil gegen Rucke- und Schneeschäden seien, so daß sie aus betriebswirtschaftlichen Gründen nicht übernommen werden können. Die Erfolge, die in einigen Forstämtern (z.B. Pegnitz, Selb, Mitterteich) unter verschiedenen ökologischen Bedingungen mit Naturverjüngung erzielt worden sind, deuten dagegen an, daß bei der Kiefer öfter als angenommen mit einer befriedigenden Naturverjüngung zu rechnen ist.

Um eine Vorstellung darüber zu bekommen, welche Eigenschaften diese Naturverjüngungen haben, galt es bei dieser Untersuchung, Antworten auf folgende Fragen zu bekommen:

- Welche Pflanzendichten werden in Kiefern Naturverjüngungen erreicht? Wie ist die Verteilung der Verjüngungspflanzen auf der Fläche?
- In welchem Umfang verjüngen sich Mischbaumarten in der Kiefer und welche Dichten erreichen diese?

- Welche Altersstruktur weisen die Jungwüchse auf?
- Wie ist bei den Jungwüchsen die Verteilung der Sproßlängen und der Durchmesser? Welche Höhenzuwächse sind in den letzten 5-10 Jahren (je nach Bestimmbarkeit) geleistet worden?
- Welche Phytomasse ist - nach Baumteilen getrennt - in der Verjüngung akkumuliert?
- In welchem Umfang und welcher Zusammensetzung findet sich neben der Verjüngung noch Bodenvegetation ein?
- Welche Zusammenhänge lassen sich zwischen den Befunden über die Naturverjüngung und die Standorte, die Überschirmungsverhältnisse, die Bodenvegetation und womöglich anderen Faktoren herstellen?

2. Arbeitsmethodik

2.1 Auswahl der untersuchten Bestände

Die Stichprobeninventur bezweckt eine repräsentative Erfassung bestimmter Kriterien einer Population. Sofern nicht mit Stratifizierung gearbeitet wird, hat jedes Individuum der Population die gleichen Chancen, von einer Stichprobe erfaßt zu werden. Bei ökologischen Analysen ist es aber wichtig, die ganze Variationsbreite der Kriterien zu erfassen, möglichst gleichmäßig repräsentiert (GREIG-SMITH, 1964).

Für die Auswahl der Probebestände war zunächst eine Listenstichprobe vorgesehen. Bei dieser werden sämtliche Bestände eines Gebietes, die Kiefern naturverjüngung aufweisen, aufgelistet und aus dieser Liste dann stichprobenartig einige Flächen ausgeschieden (LOETSCH, ZÖHRER und HALLER, 1973).

Dieses Verfahren konnte nicht angewandt werden, da die Zusammenstellung der Listen in einigen Forstämtern wegen der großen Zahl von Verjüngungen zuviel Zeit in Anspruch nehmen würde. Deshalb wurden die Waldbaureferenten der Oberforstdirektionen Bayreuth und Regensburg zu Rate gezogen. Unter ihrer Führung wurden verschiedene Verjüngungsflächen besichtigt. Nach diesen Waldbegängen wurde dann eine Reihe typischer Flächen für die Untersuchung ausgewählt, die die verschiedenen Standorte, Bestandesbehandlungen und Entwicklungsstadien der Verjüngung einschließen sollten. In Kap. 3 werden die wichtigsten Merkmale jedes dieser Bestände beschrieben.

2.2 Methoden der Inventur

Mehrzweckinventuren, die möglichst in einem Arbeitsgang verschiedene Informationen der Population erfassen sollen, haben im allgemeinen eine komplexe Aufnahmemethode. Es müssen verschiedene Inventurverfahren kombiniert werden, um gute Resultate zu erzielen. Zur Quantifizierung von Mengen wird bei Verjüngungsinventuren mit Stichprobeflächen gearbeitet. Die Verteilung der Bäumchen auf der Fläche kann ebenfalls mit Probe-

flächen erfaßt werden, z.B. mit der Methode der "bestockten Quadrate" oder aber mit Hilfe der Abstandsverfahren. Merkmale der Population, die von der Dimension der Individuen abhängen, z.B. die Mittelhöhe, können mit Punkt- oder Linienstichproben erfaßt werden.

2.21 Flächenstichproben

Dieses Verfahren hat die Aufnahme von mehreren kleinen Probekreisen oder Probequadraten bestimmter Größe als Grundlage, die systematisch oder zufällig über eine zu untersuchende Fläche verteilt werden. Größe und Anzahl der Stichprobeflächen richten sich nach den Eigenschaften der Population und der Genauigkeit der Erhebung. Auf den Stichprobeflächen werden sämtliche Bäume oder Pflanzen erfaßt, was bei sehr dichten Populationen sehr zeitaufwendig sein kann. Die Stichprobeflächen werden auch zur Bestimmung der Zusammensetzung und des Deckungsgrades der Bodenvegetation herangezogen, wenn die Untersuchungsfläche zu groß für eine Vollaufnahme ist.

2.22 Bestockte Quadrate

Der Zustand von Naturverjüngungen wird häufig mit Hilfe der "bestockten Quadrate" beurteilt. Dieses Verfahren beruht auf der Annahme, daß eine Verjüngung als gelungen bezeichnet werden kann, wenn eine bestimmte Anzahl an Flächen der Größe des Standraums, den ein Baum dieser Art zur optimalen Entwicklung benötigt, mit mindestens einer Pflanze, die die vorgegebenen Anforderungen erfüllt, bestockt ist (HAIG, 1931). Weitere Informationen zu diesem Verfahren werden von KER (1954), LOETSCH, ZÖHRER und HALLER (1973) und BIRTH (1977) gegeben.

Diese Methode wird viel bei der Begutachtung von Naturwäldern in den Tropen benutzt. In jungen B-ständen sollen die Pflanzenzahlen in der Regel größer als in älteren Beständen sein. Dadurch reduziert sich der Standraum der einzelnen Pflanzen. Deshalb werden bei Untersuchungen von Verjüngungen in jüngeren

Phasen kleinere Flächen als Einheit benutzt, meist 4 m^2 . Dies entspricht ca. 1/1000 Acre, und deshalb hat die Methode im englischen Sprachraum die Bezeichnung "milacre method". Je nach Fragestellung können verschiedene Anforderungen an die Verjüngungspflanzen gestellt werden, ehe für "bestockt" oder "unbestockt" entschieden wird. Genaue Angaben über Zusammensetzung und Struktur der Naturverjüngung sind mit dieser Methode nicht möglich, weil nur wenige Pflanzen angesprochen werden, aber nicht die ganze Population beschrieben wird. Es sind keine Schätzungen der Dichte, der Höhen- oder Altersverteilung möglich, da auf den Probeflächen nur das Vorhandensein einer oder zweier Pflanzen mit vorgegebenen Merkmalen notiert wird.

2.23 Punkt- oder Linienstichproben

Das Charakteristikum dieser Inventurtechnik ist, daß die Wahrscheinlichkeit der Auswahl eines Individuums nicht flächenabhängig ist, sondern proportional zur Größe einer bestimmten Variablen ist, z.B. Höhe oder Durchmesser von Bäumen.

Um Holzvorratsinventuren zu vereinfachen, hat BITTERLICH (1948) die Methode der Winkelzählprobe entwickelt. Mit ihr kann die Grundfläche eines Bestandes ohne Abstecken von Probeflächen nur von Punkten im Bestand aus schnell ermittelt werden. Weitere theoretische Studien haben zur Möglichkeit der Herleitung von anderen Eigenschaften des Bestandes geführt, die grundflächenabhängig sind, z.B. Stammzahl, Mitteldurchmesser und Holzvolumen (GROSENBAUGH, 1952; UNTERDÖRFER, 1955).

Für Verjüngungsinventuren wird von BEERS (1973) die Linienstichprobe vorgeschlagen, die auf der vertikalen Winkelzählung beruht.

Bei dieser Technik wird eine Basislinie (LL') auf der Untersuchungsfläche abgesteckt. Von der Basislinie wird eine imaginäre schiefe Ebene in einem vorgegebenen Winkel (α) zur Horizontalen bestimmt. Jede Verjüngungspflanze, die nun diese schiefe Ebene berührt oder durchstößt, wird gezählt (Abb. 1). Durch Festlegung der Länge der Basislinie und des Winkels ist es möglich, einen Zählfaktor zu berechnen. Die Zahl der er-

faßten Pflanzen, multipliziert mit diesem Zählfaktor, ergibt die summierte Höhe der Verjüngungspflanzen pro Hektar, analog wie bei der Grundflächenmessung von BITTERLICH. Werden zusätzlich zur Zählung noch die Höhen der Pflanzen in der Probe gemessen, so kann die Dichte und Mittelhöhe der Verjüngungspflanzen geschätzt werden.

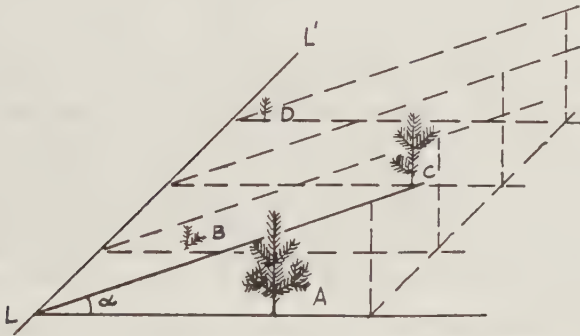


Abb. 1: Vertikale Linienstichprobe. Die Pflanzen A und D werden gezählt, B und C nicht (aus BEERS, 1973, abgeändert).

Bei Verjüngungen mit kleinen Pflanzen und Keimlingen ist die Durchführung dieses Verfahrens schwierig, da das Auffinden der Pflanzen und die Überprüfung der Zugehörigkeit zur Probe sehr erschwert wird, bei starker Bodenvegetation sogar fast unmöglich ist.

2.24 Abstandsverfahren

Die Verteilung einer Pflanzenpopulation auf der Fläche kann mittels der Entfernungen zwischen Stichprobepunkten und den nächsten Pflanzen zu ihnen beurteilt werden. Theoretische Untersuchungen in verschiedenen strukturierten Populationen haben gezeigt, daß es möglich ist, die Verteilung mit Hilfe des von COX (1971) entwickelten Nullflächendiagramms darzustellen.

In diesem Verfahren werden die Entfernungen von systematisch oder zufällig ausgelegten Punkten zu der jeweils am nächsten stehenden Pflanze gemessen. Diese Entfernungen sind die Radien von Kreisen, die keine Pflanze beinhalten, und diese Kreise werden als Nullflächen definiert. Für eine vorgegebene Pflanzendichte kann für jede Population eine Verteilung dieser Nullflächen beschrieben werden. So überschreiten z.B. bei systematisch auf der Fläche verteilten Pflanzen die Nullflächen nicht eine bestimmte Größe, die von der Populationsdichte abhängig ist. Hat die gleiche Population dagegen eine geklumpfte Verteilung, so können öfters sehr große Nullflächen vorkommen.

Für Verjüngungsinventuren und ihre Beurteilung wurde dieses Verfahren von LOETSCH (1973) weiterentwickelt. Wie schon COX im theoretischen Modell, hat MÜLLER-USING (1973) bei praktischer Anwendung dieser Methode in Chile die Unzulänglichkeit dieses Verfahrens zur Dichtebestimmung festgestellt. Deshalb wird es in dieser Untersuchung nur zur Beurteilung der Verteilung des Jungwuchses auf den Verjüngungsflächen herangezogen. Mehr über diese Methode wird in Abschnitt 4.2 gebracht.

2.3 Verwendete Methoden

Nach der Auswahl der Untersuchungsflächen wurden anhand der Wirtschaftskarten Skizzen der verjüngten Partien darin angefertigt. Über jede dieser Teilflächen wurde dann ein Gitternetz zur Bestimmung der Stichprobepunkte gelegt. Der Abstand zwischen den Gitternetzpunkten richtete sich nach der Größe der Fläche. Je ausgedehnter die verjüngte Partie, um so größer waren die Abstände. Kleinster Abstand zwischen den Punkten war 5 x 10 m bei Saumverjüngungen und größter 25 x 25 m bei großflächigen Verjüngungen unter Schirm. Große Entfernungen zwischen den Punkten erschweren die Markierung dieser Punkte.

Deshalb wurde hauptsächlich mit den Entfernungen 10 x 10 m und 10 x 20 m gearbeitet. Diese Stichprobepunkte bestimmen die Rotationsachse der Winkelzählprobe zur Aufnahme des Altbestands sowie den Punkt zur Messung des Punkts : Pflanze - Abstands. Weiterhin waren sie Zentrum der Probekreise, die zur Beschreibung des Jungwuchses und des Kleinstandortes ausgelegt wurden. Die Anzahl der Punkte auf jeder Fläche wurde so gewählt, daß bei möglichst niedrigem Arbeitsaufwand eine annehmbare Sicherheit der Ergebnisse gewährleistet ist.

Da sich der Aufnahmefehler mit dem Quadrat der Stichprobenzahl verringert, müssen z.B., um den Fehler einer Aufnahme mit 20 Stichproben zu halbieren, 80 Stichproben aufgenommen werden. Eine Voruntersuchung zur Bestimmung der Mindestzahl an Probekreisen ist bei der ersten Aufnahmefläche durchgeführt worden. Auf dieser Fläche sind insgesamt 64 Probekreise aufgenommen worden und der Mittelwert für die Pflanzenzahl sowie der Standardfehler, der prozentuale Standardfehler des Mittels und der Variationskoeffizient errechnet. Diese Werte wurden den anhand von 32 Probekreisen errechneten gegenübergestellt, und zwar sind für diese zweite Stichprobe alle ungeraden Probekreise der ersten ausgewertet worden (Tab. 2).

Zahl der Stichproben	Mittelwert der Dichte (Stck/m ²)	Standardfehler des Mittels	Standardfehler des Mittels %	Variationskoeffizient %
64	9,0	1,3	14,1	113
32	9,7	1,9	19,8	112

Tab. 2 - Variation von statistischen Parametern in Abhängigkeit von der Stichprobenzahl.

In Naturverjüngungen ist die Verteilung der Pflanzen meist sehr unregelmäßig, ein prozentualer Standardfehler des Mittelwerts von 20 % wird als obere Fehlergrenze bei den Inventuren noch angenommen (MÜLLER-USING, 1973). Deshalb wurden im Jahr 1977

die Aufnahmen mit 30 Stichprobepunkten durchgeführt. Nach Auswertung der ersten Aufnahmeergebnisse erfuhr die Arbeitsmethodik eine Umgestaltung. Danach wurden im Jahr 1978 Gitternetze mit 40 Punkten ausgelegt.

Eine Ausnahme bei der Zahl der Stichprobepunkte mußte auf Fläche Bamberg 1 gemacht werden, da durch Schneefall während der Arbeit auf dieser Fläche im November 1977 die Aufnahme abgebrochen werden mußte. Dadurch wurden dort nur 15 Punkte untersucht.

2.31 Die Aufnahme des Altholzes

2.311 BITTERLICH-Punktstichproben

Zur Bestimmung der Überschirmung wurde an jedem Aufnahmepunkt für die Verjüngung eine Winkelzählprobe mit dem BITTERLICH-Relaskop, Zählfaktor 2, gemacht. Dabei wurden die Grundflächen pro Hektar für jede vorhandene Baumart getrennt notiert, um zusätzliche Aufschlüsse über die Zusammensetzung des Schirms zu bekommen.

2.312 Struktur von Bestand und Schirm

Da die Grundfläche je Hektar allein noch nichts über die Eigenschaften der Schirmbestände aussagt, wurden für eine detailliertere Beschreibung des Altholzes vor der Aufnahme im Bestand einige Punkte ausgewählt und die dort bei der Winkelzählprobe ausgeschiedenen Bäume vermessen. Die Zahl dieser Probepunkte - bei den zwei ersten Beständen die Hälfte der gesamten Stichprobepunktzahl - erwies sich als zu hoch, da erstens die Vermessung der Bäume sehr zeitraubend ist und zweitens - durch die geringen Entfernungen zwischen den Stichprobepunkten bedingt - dies fast einer Vollaufnahme entsprach. So wurde die Zahl der Probepunkte mit detaillierter Vermessung auf 20 % im Jahr 1977 festgelegt. Im Jahr 1978 wurden dann nur noch 12 % ausgeschieden, da sich herausgestellt hatte, daß diese Zahl für eine gute Erfassung des Schirms vollkommen ausreichte.

Bei den einzelnen Bäumen wurde gemessen:

- der Brusthöhendurchmesser mit Umfangbandmaß,
- die Höhe und die Höhe des Kronenansatzes, letztere definiert als Anfang der Benadelung der Krone, mit Höhenmesser BLUME-LEISS,
- zwei Durchmesser der Krone über Kreuz, wobei einer den größten Radius beinhaltete, mit einem Dachlot und Bandmaß.

2.32 Aufnahme des Jungwuchses

2.321 Anwendung des Abstandsverfahrens

Zur Erstellung von Nullflächendiagrammen von Verjüngungen nach COX (1971) und LOETSCH (1973) wurden die Entfernungen vom Stichprobepunkt zu den drei nächsten Kiefern der Verjüngung gemessen. Die erfaßten Pflanzen mußten mindestens 2 Jahre alt sein.

2.322 Beschreibung der jungen Bäume

Zur Aufnahme des Jungwuchses wurden Probekreise ausgelegt, deren Mittelpunkt der schon bestimmte Stichprobepunkt war. Die Kreisgröße richtete sich nach der okular geschätzten Dichte des Jungwuchses, es sollten im Schnitt mindestens 2 Verjüngungspflanzen pro Probekreis erfaßt werden. Die Mindestgröße des Kreises betrug 1 m^2 , die maximale Größe 2 m^2 .

Zur Abmessung der Probekreise wurde eine Schnur benutzt, die an einem Eisenstab in der Mitte des Kreises befestigt war. Die Länge dieser Schnur war bei 1-m²-Kreisen 56,5 cm und bei 2-m²-Kreisen 78,9 cm.

Von jeder Verjüngungspflanze wurden folgende Kriterien erfaßt:

- Baumart,
- Alter (nur bei Kiefern und Fichten),
- Durchmesser in 10 und 130 cm Höhe,
- Höhe, bei geneigten Pflanzen auch die Länge,
- Häufigkeit des Verlustes der Terminalknospe.

2.323 Analyse der größten Kiefer im Aufnahmekreis

Zur Beurteilung der Jungkiefern wurde die größte Kiefer in jedem Stichprobekreis samt Hauptwurzeln entnommen und analysiert. Diese Analyse bestand aus:

- Altersschätzung (Zählung der Jahrestriebe),
- Höhenmessung,
- Durchmesserbestimmung in 10, 130 cm Höhe und in halber Pflanzenhöhe,
- Durchmesserbestimmung des stärksten Astes,
- Messung des längsten Astes,
- Messung der Krümmung des Stammes (definiert als die größte Abweichung des Schaftes von einer Geraden, die Sproßbasis und Sproßende verbindet),
- Messung der jährlichen Höhenzuwächse,
- Zählung der toten und lebenden Äste in jedem Quirl,
- Erfassung des Wurzeltyps bei den Pflanzen die im Jahr 1978 entnommen wurden (Pfahl-, Herz- oder Flachwurzeln),
- Bestimmung der Trockenmasse von den Jungkiefern die im Jahr 1978 entnommen wurden.

2.33 Beschreibung der Standorte

2.331 Allgemeine Standortsverhältnisse

Zur Charakterisierung des Standorts auf jeder Untersuchungsfläche wurden klimatische, geologische und bodenkundliche Da-

ten herangezogen. Die klimatischen Daten sind vom Reichsamt für Wetterdienst (1939) erhoben worden. Die Ermittlung des geologischen Substrats erfolgte mit Hilfe der forstlichen Standortskartierung. Dort, wo keine Standortserkundung vorlag, wurden die Informationen zur Geologie aus der Geologischen Karte Bayerns (1964) entnommen. Auf jeder Fläche ist ein Bodeneinschlag zur Beschreibung des Bodenprofils angelegt worden.

2.332 Ansprache des Klein-Standorts

Die Beschreibung der Klein-Standorte erfolgte auf den gleichen Probekreisen, wie sie für die Verjüngungsaufnahme benutzt wurden. Im einzelnen wurden folgende Merkmale erfaßt:

- Die Streuauflage - ihre Mächtigkeit, gemessen bis zum Mineralboden, und die Humusform (es wurden fünf Gruppen aus-
geschieden: Nadelstreu, Nadelmoder, Blattstreu, Blattmoder und Moder).

Diese Gruppen werden folgendermaßen charakterisiert:

Nadelstreu - eine unzersetzte Kiefern- oder Fichtennadeln-
schicht direkt auf dem Mineralboden,
Nadelmoder - entspricht einem rohhumusartigen Moder, haupt-
sächlich aus Nadelstreu,
Blattstreu - eine unzersetzte Blätterschicht, wobei Gräser
und Sträucher die organische Substanz liefern, direkt auf
dem Mineralboden,
Blattmoder - rohhumusartiger Moder, zum größten Teil aus
Blattresten bestehend, und
Moder - die Humusauflage besteht hauptsächlich aus zersetz-
tem Material, dessen Ursprung nicht mehr erkennbar ist.

- Die Bodenvegetation, und zwar folgende 5 Vegetationsarten-
gruppen: Moose, Gräser, Calluna, Vaccinium und sonstige
Pflanzen. Von jeder Artengruppe wurde das Deckungsprozent
sowie die mittlere Höhe gemessen und außerdem der Probe-
kreisanteil ohne Bewuchs geschätzt.
- Der Bodenzustand mit den drei Varianten: unberührt, gestört
und Feuerstelle.
- Die Orografie: Kuppen-, Hang- oder Tallage.
- Die Exposition und die Hangneigung in Grad.

- Das Relief des Probekreises: glatt, Mulde, Buckel oder rauh.

Bei der Mulde hat die Oberfläche eine leicht konkave Beschaffenheit, der Buckel wird als eine leichte Konvexität der Bodenoberfläche definiert. Rauhes Relief war gegeben, wenn auf dem Probekreis starke Unregelmäßigkeiten vorkamen, wie z.B. Schollen nach der Bodenbearbeitung mit Pflug.

2.34 Datenerhebung und -verarbeitung

Zur Erfassung der Daten bei den Inventuren wurden Formulare entwickelt, die eine schnelle und einfache Übertragung der Daten auf Lochkarten für die elektronische Datenverarbeitung erlauben. Die Auswertung der Daten erfolgte auf dem elektronischen Rechner IBM 370 des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Die angewandten Rechenprogramme stammen teils aus der Serie BMDP, die von der Health Sciences Computing Facility, University of California, Los Angeles, entwickelt wurde, teils wurden sie selbst geschrieben. Sie sind im Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung der Universität München hinterlegt.

2.4 Arbeitsablauf

Die Auswahl der Untersuchungsflächen begann im Juni 1977 in den Forstämtern Pegnitz, Bamberg und Selb. Nach der Ausscheidung der Flächen konnte im August 1977 mit der Verjüngungsinventur angefangen werden. Sie zog sich bis November 1977 hin. Während des Winters 1977/78 fand eine erste kritische Sichtung der Erhebungsergebnisse statt. Von Mai bis November 1978 wurden weitere Flächen in den Forstämtern Bamberg, Pegnitz, Selb, Mitterteich, Waldsassen, Pfreimd, Amberg und Erlangen aufgenommen.

Bei den Aufnahmearbeiten hat sich eine Drei-Mann-Gruppe als am besten geeignet erwiesen. Eine Person machte die Messungen an den Jungkiefern, eine zweite war für die Registrierung der Werte zuständig. Die dritte Person beschäftigte sich mit der

Aufnahme des Klein-Standorts und des Altbestands. Bei der Vermessung der Schirmbäume waren zwei Personen notwendig, die dritte übertrug die Meßwerte auf die Formulare. Die beste Reihenfolge zur Aufnahme der verschiedenen Faktoren war: Beschreibung des Klein-Standorts, Aufnahme der Verjüngungspflanzen und - als letzter Schritt - die Aufnahme des Altholzes.

3. Beschreibung der untersuchten Bestände

3.1 Lage und Bezeichnung der untersuchten Bestände

Die Untersuchung erstreckte sich auf das Kieferngebiet von Nordbayern, hauptsächlich in den Regierungsbezirken Oberfranken und Oberpfalz. Auf der Karte in Abb. 2 sind die Forstämter eingetragen, in denen sich Untersuchungsbestände befanden. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden die untersuchten Verjüngungsflächen mit dem Namen des Forstamtes und einer Ziffer gekennzeichnet. Die Identifizierung der jeweiligen Abteilungen und Unterabteilungen ist mit Hilfe der Tab. 3 möglich.

Es wurden 22 Bestände untersucht; 13 lagen in Oberfranken, 8 in der Oberpfalz und 1 in Mittelfranken. Insgesamt wurden 804 Stichprobepunkte ausgelegt, die eine Fläche von rund 17 ha repräsentieren. Von diesen 22 Beständen wurden in einem 64 Stichprobepunkte aufgenommen, in 13 waren es 40 Punkte, in weiteren 5 waren es 30 Punkte. In den restlichen drei Beständen wurden weniger als 30 Stichprobepunkte aufgenommen.

Die durchschnittliche Größe der untersuchten Flächen betrug 0,7 ha, vier Flächen sind 1,6 ha groß, zwei 1,2 ha, alle anderen sind kleiner als 1 ha. Die kleinste Fläche ist 0,2 ha groß, sie ergab sich bei der Untersuchung einer Saumverjüngung im Forstamt Mitterteich.

3.2 Die Standorte

Die Einordnung der untersuchten Flächen nach Wuchsgebieten, Wuchsbezirken und Teilwuchsbezirken wurde mit der Karte für Forstliche Wuchsgebietsgliederung Bayerns (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1978) gemacht. Vom Fränkischen Keuper bis hin zum Fichtelgebirge und Oberpfälzer Becken- und Hügelland war eine große Variation in den Wuchsgebieten gegeben. Weitere Aufgliederungen



Abb. 2 - Geographische Lage der untersuchten Bestände in den Oberforstdirektionen Bayreuth und Regensburg

Forstamt	Abteilung	Fläche Nr.	Anzahl der Probekreise	Größe der unter- suchten Flächen (ha)
Bamberg	XV 7 a ¹ Bietzschlag	1	15	0,9
	XIII 2 b Oberjägermeister	2	40	1,6
	XV 12 b ⁰ Dürrschlag	3	40	1,6
Pegnitz	III 4 b ¹ Ortsfelsen	1	64	0,6
	IX 6 c ⁰ Teufelsstuhl	2	29	1,2
	IV 10 b ⁰ Rudelteich	3	30	0,6
	III 17 a ⁰ Barthelsweiher	4	30	0,3
	IX 1 a ⁰ Schindelrangen	5	30	0,9
	I 1 b ¹ Schafruhe	6	40	0,4
Selb	X 4 c ⁰ Sandbrunnen	1	26	0,4
	XI 8 c ¹ Hutrangen	2	30	0,6
	X 3 a ⁷ Lause	3	30	1,2
	XII 7 b Buchenbühl	4	40	0,8
Burglengenfeld	VIII 7 b ⁰ Degelgräben	1	40	1,6
	VII 7 a ⁰ Dreieinigkei	2	40	1,6
Mitterteich	XVIII 8 b ⁰ Grillrangen	1	40	0,2
	XVI 12 c ⁰ Brandbüsche	2	40	0,4
Waldsassen	VII 3 a ⁰ Herrgottshau	1	40	0,4
	XV 2 d ⁰ Schmidteich	2	40	0,4
Pfreimd	Nabburg I 2 ¹⁾	1	40	0,4
Amberg	VI 1 b ⁰ Ratschlag	1	40	0,4
Erlangen	V 9 b ⁴ Tiegelthonlöcher	1	40	0,4

1) Privatwald.

Tab. 3 - Bezeichnung der untersuchten Verjüngungsflächen, Zahl der Stichprobepunkte und die in der Inventur erfassten Fläche.

der Wuchsgebiete in Wuchsbezirke und Teilwuchsbezirke zeigten, daß jedes Forstamt in einem spezifischen Teilwuchsbezirk oder Wuchsbezirk lag. Somit ließen die 22 Untersuchungsflächen eine große Variation der Standorte vermuten (Tab. 4).

Die geologische Ansprache des bodenbildenden Substrats hat gezeigt, wie vielfältig dieses sein kann und trotzdem eine Naturverjüngung der Kiefer auf diesen Standorten erlaubt. So schwankt das geologische Ausgangsmaterial auf den untersuchten Flächen von armen Tertiär- und Quartär-Sanden bis zu den nährstoffreicheren Jura-Kreiden und Graniten. Aus diesen Ausgangsmaterialien bildeten sich vorwiegend Podsole und Braunerden, letztere teilweise mit einer starken Vergleyung. Die Bodenarten waren meist sandig, doch wurden auch Lehm Böden und schwach sandige Tone vorgefunden.

Anhand der topographischen Karte 1 : 50.000 wurde die Höhenlage, Exposition und Neigung jeder Fläche bestimmt. Die Höhenlage der untersuchten Flächen schwankte zwischen 280 und 580 m mit Neigungen von 0 bis 18 %, meist in den höheren Lagen. Die Exposition der Flächen war - läßt man die Säume unberücksichtigt - einheitlicher: 2/3 der Flächen hatten eine Südexposition, drei Flächen (1/7) Nordexposition und die restlichen Flächen andere Expositionen.

Die klimatischen Merkmale der Standorte waren teilweise ebenfalls sehr verschieden. So variierte der jährliche Niederschlag von 500 bis 860 mm und der Niederschlag der Vegetationsperiode von Mai bis September zwischen 290 und 400 mm. Die Jahresmittel der Temperatur schwankten zwischen 5,7 und 8,2 °C (aus "Klimakunde des Deutschen Reiches", 1939). Die klimatischen Daten beziehen sich jeweils auf das Forstamt. Es wurden keine Messungen im Gelände durchgeführt.

Forstent- Nr.	Fläche Nr.	Nachgebiot	Nachgebiot	Teilnachgebiot	Geologisches Substrat	Boden- typ	Bodenart	Höhe in m	Beigung %	Exposition °	Niederschlag Jan.-Sept. mm	Jahres- mittel der Temperatur °C
Bandorf	1	Frankfurter Kuppen und Albvorland	Nördliche Kuppenabdeckung	Regnitzebene	Quar- sande	schwacher Podsol	schwach leimiger Sand	255	1,4	260		
	2					mittlere Podsol	Sand	277	1,7	200	292	8,2
	3					mittlere Braunerde	Sand	264	2,0	250		
Peitzitz	1				Oberturn	mittlere Podsol	schwach leimiger Sand	425	10,0	80		
	2				Kreidereste	schwach leimiger Braunerde	leimiger Sand	435	10,5	170		
	3	Franken- alb und Oberpfälzer Jura	Nördliche Franken- alb und nördlicher Oberpfälzer Jura	Veldensteiner Forst	Oberturn	schwacher Podsol	schwach leimiger Sand	435	0,0	180	397	7,1
	4				Oberturn	schwacher Podsol	schwach leimiger Sand	435	0,0	180	860	
	5				Kreidereste	schwach leimiger Podsol	schwach leimiger Sand	435	25,0	0		
	6				Nahe	schwach leimiger Braunerde	schwach leimiger Sand	465	9,0	0		
Seib	1	Frankenwald, Pichlgebirge und Steinwald	Selb- Kuppen- Bucht	--	Granit	Braunerde	Lehm	555	8,0	200		
	2					Braunerde	sandiger Lehm	515	18,0	200	710	5,9
	3					Braunerde	Lehm	575	10,0	180		
	4					Braunerde	Lehm	580	7,0	190		
Burglenfeld	1	Franken- alb und Oberpfälzer Jura	Oberpfälzer Jura	--	Tertiär Sande	Braunerde pseudogley	schwach leimiger Sand	380	2,5	0		
	2				Kreidereste	Braunerde pseudogley	schwach leimiger Sand	390	6,0	220	647	7,7
Mittelsch	1	Wald	Wald	Wiesauer Senke	Granit- verwitterung	Braunerde pseudogley	schwach leimiger Lehm	500	0,0	180		
	2				Tertiär	Para- braunerde	sandiger Lehm	490	4,0	205	500	5,7
Waldassen	1	Oberpfälzer Jura	Oberpfälzer Jura	Waldassen Senke	Schiefer- zerfall	Braunerde	Lehm	530	7,5	120		
	2				Phylli- zerfall	Braunerde pseudogley	sandiger Lehm	525	8,0	190	628	5,7
Pfirsud	1	Oberpfälzer Becken- Hügelland	Oberpfälzer Becken- Hügelland	--	Granit	Braunerde pseudogley	schwach leimiger Ton	415	12,0	160	598	6,9
Amberg	1	Franken- alb und Oberpfälzer Jura	Oberpfälzer Jura	--	Jura mit Knochen	Braunerde pseudogley	Lehm	480	17,0	140	595	6,5
Brünn	1	Franken- alb und Albvorland	Südliche Kuppenabdeckung	Redst-Redst- senke	Granit	Nachgel- ter Braun- erde	Sand	380	0,0	180	629	8,2

Tab. 4 - Standortsmkmale der untersuchten Naturverjüngungsflächen.

3.3 Die Bestände

Die Stärke des Schirms über einer Verjüngung hat deutlichen Einfluß auf diese, wie aus der Literatur bekannt ist. Eine Analyse der Naturverjüngung muß deshalb die wichtigsten Bestandesmerkmale berücksichtigen. Die ertragskundlichen Erhebung der wichtigsten Merkmale des Bestandes liefert die Größen, die zur Quantifizierung des Schirms notwendig sind sowie zur Schaffung der Grundlage für Vergleiche mit anderen Flächen. Durch die Erhebung der ertragskundlichen Größen ist es weiterhin möglich, die potentielle Produktion des Standorts zu erkennen, da die Bestandesmerkmale der Ausdruck des Zusammenspiels der verschiedenen Standortsfaktoren sind.

Die Altbestände wurden nach der Ertragstafel WIEDEMANN (1943), mäßige Durforstung bonitiert. Eingangsgrößen für die Bonitierung sind die Höhen der Grundflächenmittelstämme und das Alter. Das Alter wurde aus den Revierbüchern entnommen, die Höhe des Grundflächenmittelstammes (h_m) über den Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (d_m) errechnet.

Nach Bestimmung der Grundflächen/ha mittels Punktstichproben und Winkelzählung und Vermessung der in einigen Proben erfaßten Bäume konnte die Zahl der Bäume/ha und der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes nach dem von LOETSCH, ZÖHRER und HALLER (1973) beschriebenen Verfahren berechnet werden. Für die gemessenen Höhen wurde eine Höhen-Durchmesser-Funktion gewonnen, mit der dann für den Durchmesser des Grundflächenmittelstammes eine Höhe berechnet werden konnte. Nach der Bonitierung wurde der Bestockungsgrad errechnet.

Die Bestimmung der verschiedenen ertragskundlichen Bestandesmerkmale mit den BITTERLICH-Punktstichproben wird folgendermaßen durchgeführt:

a) Grundfläche pro Hektar (G/ha)

$$G/ha = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^n z_j \quad (1)$$

wobei k = Zählfaktor
 n = Anzahl der Stichprobepunkte
 z_j = Zahl der gezählten Bäume in der Probe j

b) Baumzahl (N/ha)

$$N/ha = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{z_j} \frac{1}{g_{ij}} \quad (2)$$

g_{ij} = Grundfläche des i -ten Baumes in der j -ten Probe

In der Winkelzählprobe ist die Baumzahl durch die Summe der reziproken Werte der Grundflächen der in der Probe erfaßten Bäume gegeben.

c) Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (d_m)

$$d_m = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{G/ha}{N/ha}}$$

d) Höhe des Grundflächenmittelstammes (h_m)

Für sämtliche gemessenen Höhen der Kiefer auf der Fläche werden mit Hilfe des Programms HOEHE des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der Universität München Höhenkurven berechnet. Diejenige Höhenfunktion, die sich am besten an die gemessenen Höhen anpaßt, diente zur Berechnung der Höhe des Grundflächenmittelstammes bei gegebenem d_m (SCHMIDT, 1967).

e) Bonitierung

Mit der Routine BONIT wurde nun für die Wertepaare Alter und h_m die Bestandesbonität errechnet. Diese Routine wurde schon bei der Bayerischen Waldinventur 1970/71 (KENNEL, 1973) angewandt.

f) Bestockungsgrad (B^0)

Aus der Ertragstafel wurden die Grundflächen zur Berechnung der Bestockungsgrade entnommen.

g) Überschirmung

Mit den Radien der Kronen wurde für jeden Baum eine Kronenprojektionsfläche berechnet und anhand der Grundflächen eine Kronenfläche-Grundfläche-Funktion berechnet. Mit Hilfe dieser Funktion konnte dann über die Grundfläche/ha auch die Kronenfläche/ha bestimmt werden. Wird die Kronenfläche mit der bestockten Fläche ins Verhältnis gesetzt, so bekommt man die prozentuale Überschirmung. Näheres zu der Berechnung der Überschirmung wird in Abschnitt 3.5 dargestellt.

Auf dem größten Teil der untersuchten Flächen war die Naturverjüngung unter Schirm angekommen. Das war auch dann meist der Fall gewesen, wenn die Schirmbestände zum Zeitpunkt der Aufnahme bis auf einige Überhälter abgeräumt worden waren. Vier der untersuchten Flächen waren im Saumschlagverfahren verjüngt (Abb. 3). Bei diesen Flächen beziehen sich die Werte der Bestandesmerkmale nur auf die Altbestände, es sind keine Mittelwerte für die untersuchten Flächen. In Tab. 5 sind die Werte der Bestandesmerkmale für die 22 Bestände zusammengestellt.

Wie schon bezüglich der Standorte, unterscheiden sich die untersuchten Flächen auch vom Schirm her sehr. Die Grundflächen variieren von $3,3 \text{ m}^2/\text{ha}$ bis hin zu $36 \text{ m}^2/\text{ha}$, mit annähernd gleichmäßiger Verteilung über die Variationsbreite (Abb. 4). Bei den Saumverjüngungen waren auch Teilflächen ohne jeglichen Schirm vorhanden. Hauptbaumart des Schirms ist generell die Kiefer, nur auf einer Fläche (Pegnitz 2) war die wichtigste Nebenbaumart Fichte gleich stark vertreten. Andere Baumarten, wie Buchen, Tannen und Lärchen, waren nie mit mehr als $1 \text{ m}^2/\text{ha}$ Grundfläche vertreten.

Der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes variierte bei der Kiefer zwischen 25 und 51 cm mit Schwerpunkt in dem Bereich von 30-40 cm. Bei den Fichten schwankte er zwischen 20 und 35 cm. Die Höhe des Grundflächenmittelstammes bei den Kiefern variierte zwischen 19 und 31 m, wobei auf 16 Flächen diese Höhe gleich oder geringer als 26 m war. Die Höhe des Grundflächenmittel-

Forstamt	Fläche Nr.	Grundfläche (m ² /ha)			d _m (cm)		h _m (m)		Bäume (Stk/ha)		Ertrags- klasse Kiefer	Bestockungs- grad Kiefer	Überschirmung (%)	
		Kiefer	Fichte	Buche	Tanne	Kiefer	Fichte	Kiefer	Fichte	Kiefer			Kiefer	Fichte
Bamberg	1	23,7				33,9		28,5		237		0,87	68	
	2	18,9	0,1	0,1		29,2		23,5		311		0,60	60	
	3	28,3		0,1		39,7		28,6		232		0,97	76	
Pegnitz	1	26,2				31,3		20,1		337		0,94	90	
	2	7,4	7,4			42,0	35,3	27,9	26,5	62	69	0,24	19	14
	3	12,0	0,3			35,2		23,3		134		0,46	34	
	4	19,3	0,7			32,5		21,6		258		0,69	73	
	5	10,9	0,8	0,1		37,3		22,4		81		0,41	36	
	6	21,6	3,2		0,2	32,0	26,2	25,2	20,5	273	37	0,81	55	10
Selb	1	14,6				40,7		28,3		117		0,50	24	
	2	18,5	5,3			44,9	20,3	31,3	16,1	113	164	0,58	25	32
	3	3,3				51,0		30,8		16		0,10	6	
Burglengelfeld	1	29,6				27,7		20,0		512		1,06	105	
	2	30,7				29,2		20,0		459		1,11	117	
Mitterteich	1	16,7	6,7			36,2	32,1	25,2	22,0	162	82	0,61	41	23
	2	30,6	0,4			32,4	29,0	25,5	16,0	290	10	1,11	92	
Waldsassen	1	26,7	0,2			36,0		24,7		291		1,00	73	
	2	21,9	0,1			31,3		23,4		286		0,85	70	
Pfreimd	1	27,8				25,3		18,9		527		1,06	80	
Amberg	1	20,0	8,0			37,4	23,8	27,0	23,4	182	179	0,70	52	35
Erlangen	1	14,0		0,9		32,3		21,6		176		0,50	42	

Tab. 5 - Ertragskundliche Merkmale der Altbestände auf den untersuchten Verjüngungsflächen.

FORSTAMT MITTERTEICH 05
Abteilung XVI 12 c° Brandböschung
Verjüngungsfläche 02



FORSTAMT MITTERTEICH
Abteilung XVIII 8 b° Grillrangen
Verjüngungsfläche 01



FORSTAMT SELB
Abteilung XII 7b Buchenbühl
Verjüngungsfläche 04



FORSTAMT AMBERG
Abteilung VI 1b° Ratschlag
Verjüngungsfläche 01



Abb. 3 - Skizzen der vier im Saumschlag verjüngten Bestände.
Die Punkte geben die Stichprobepunkte der Inventur
wieder.

stammes der Fichten lag immer niedriger als die der Kiefern, bei einer Fläche sogar fast um die Hälfte (Selb 2).

Wie die Grundflächen, so streuten auch die Baumzahlen auf den untersuchten Flächen relativ gleichmäßig von 16 bis 530 Stck/ha. Die Hälfte der Bestände hatte Baumdichten von 100 bis 300 Stck/ha. Auf drei Flächen hatten die Fichten einen von der Baumzahl her gleichen Anteil am Schirm wie die Kiefern.

Die Kiefern der untersuchten Bestände waren generell älter als 100 Jahre. Die meisten hatten ein Alter zwischen 110 und 150 Jahren, einige sogar 170 Jahre. Nach der Höhenbonitierung zeigte sich wieder ein einheitlicheres Bild der Bestände. Zwar schwankten die Bonitäten zwischen I.2 und III.8, die Merheit der Bestände hatte jedoch Bonitäten zwischen II.5 und III.5.

Bei der Verteilung des Bestockungsgrades (Tab. 5) und des Überschirmungsprozentes zeigte sich die gleiche gleichmäßige Verteilung über die Variationsbreite wie sie sich auch für die Grundflächen ergeben hat (Abb. 4). Bestockungsgrad und Über-

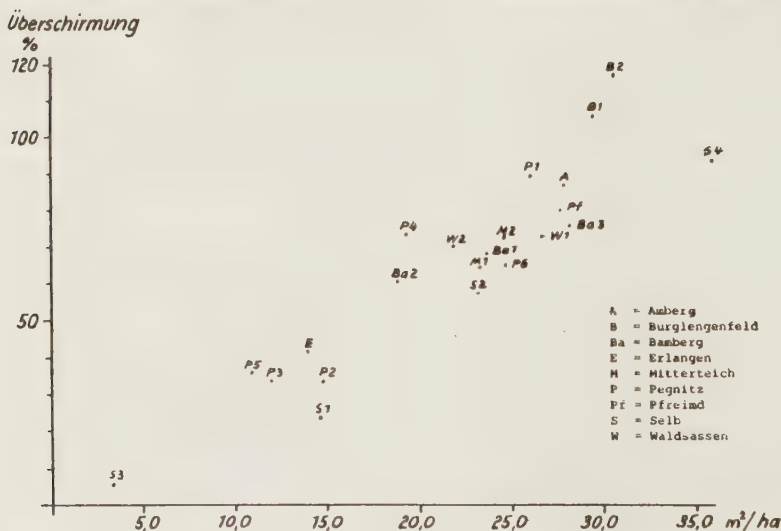


Abb. 4 - Mittlere Grundflächen/ha und Überschirmungsprozente der untersuchten Bestände.

schirmungsprozent sind zwar abhängig von der Grundfläche, doch spielt natürlich die Ertragsklasse eine modifizierende Rolle. Trotzdem sind beide Merkmale relativ gleichmäßig über den Variationsbereich verteilt, der die Spanne 0,1 bis 1,1 für den Bestockungsgrad umfaßt und 5 bis 120 % für die Überschirmung. Beim Bestockungsgrad muß berücksichtigt werden, daß dieser nur für die Kiefer gilt, Bestände wie Pegnitz 2, mit 50 % Grundflächenanteil jeweils von Kiefer und Fichte, haben ein höheren Bestockungsgrad. Da die Fichten nicht in Ertragsklassen eingeordnet wurden, ist es auch nicht möglich, den wirklichen Bestockungsgrad zu ermitteln. Das Überschirmungsprozent dagegen entspricht dem tatsächlichen Anteil beider Baumarten an der Kronenprojektionsfläche, da diese im Bestand gemessen wurde.

3.4 Die Bestandeschronik

Waldbauliche Eingriffe beeinflussen Ankommen und Entwicklung von Kiefernurnaturverjüngungen entscheidend. Darauf hat u.a. REBEL (1924) in seiner Abhandlung hierüber eindrücklich hingewiesen. In vielen späteren Untersuchungen wurde aber den einzelnen Maßnahmen unterschiedliche Bedeutung beigemessen, und zwar teils die Auflichtung, teils die Bodenbearbeitung verjüngungsauslösend nachgewiesen.

Für die Interpretation der Ergebnisse von Momentaufnahmen, wie sie in dieser Arbeit durchgeführt wurden, ist deshalb die Kenntnis der bisher durchgeführten waldbaulichen Maßnahmen auf den Untersuchungsflächen unentbehrlich. Sie lassen sich allerdings im Gelände meist nicht mehr einwandfrei erkennen oder rekonstruieren. Vielmehr mußten zur Erstellung der Bestandeschroniken die Forstämter zu Rate gezogen werden. Aber auch sie erlaubten es meist nicht, die Maßnahmen auf allen Flächen genau zu verfolgen, da Umstrukturierungen der Forstämter oder das Fehlen von Belegen für Eingriffe, die vor 10 oder mehr Jahren gemacht wurden, jede Nachforschung scheitern ließen. So ist bei Verjüngungen, die älter als 15 Jahre sind, kaum noch nachweisbar, was in diesen Beständen damals getan worden ist.

Trotz dieser Problematik wurde versucht, eine Bestandeschronik für jeden Bestand herzustellen. In Tab. 6 ist eine Zusammenfassung der wichtigsten waldbaulichen Maßnahmen wiedergegeben, die in den jeweiligen Unterabteilungen während des Verjüngungszeitraums durchgeführt wurden.

Es ist sehr schwierig festzustellen, welche Maßnahmen und in welcher Intensität auf den untersuchten Flächen durchgeführt wurden, da die in Tab. 6 wiedergegebenen Zahlen sich generell auf die Unterabteilung beziehen. Dies ist besonders wichtig bei der Holzentnahme, da diese oft auf Teilflächen geschah, die nicht in der Untersuchung erfaßt wurden. Die entnommenen Massen sind nicht vergleichbar, sie können nur Anhaltspunkte für die Aktivitäten in der Unterabteilung geben.

Auf fast der Hälfte der Flächen wurde der Boden bearbeitet, wobei Eggen und Bodenfräsen ungefähr in gleichen Anteilen zur Anwendung kamen. Mehr als 50 % der untersuchten Flächen wurden gedüngt. Das am häufigsten angewandte Düngemittel war kohlensaurer Kalk, in der Regel 3.000 kg/ha. Öfters ist auch Kalkammonsalpeter ausgebracht worden, meistens 500 kg/ha, einmal sogar 1.000 kg/ha. Weiterhin kam vereinzelt noch Dolomit-Kalk, Hyperphos, Kali und Thomasmehl zur Anwendung.

Nur im Forstamt Pegnitz wurden gezäunte Verjüngungen untersucht. Zwei andere Flächen waren zwar am Anfang der Verjüngung auch gezäunt, doch zum Zeitpunkt der Aufnahme war kein Zaun mehr vorhanden. Ebenso wie unzureichende Informationen über Holzentnahmen zu gewinnen waren, ließ sich die genaue Zahl der auf der untersuchten Fläche ausgebrachten Nadel- oder Laubbaumpflanzen nicht feststellen. Wenn Kiefern gepflanzt worden waren, dann meist zur Nachbesserung von Naturverjüngung. Solche ausgepflanzten Flächen sind in die Untersuchungen nicht einbezogen worden. Im Forstamt Pegnitz wurden die meisten Baum- und Straucharten in die Naturverjüngung der Kiefer eingebracht. Neben der Kiefer wurden dort

Forstamt	Fläche Nr.	Holzentnahme (fm)		Bodenbearbeitung		Jahr	Düngung		Zählung Jahr	Pflanzung (Stck/ha)		Streuunt- zung bis
		Kiefer	Fichte	Gerät	Jahr		Jahr	Düngemittel		Kiefer	Fichte	
Rudersberg	1	1965-67	118	Bodenfräse	1965	1965/69	1968/72	CaCO ₃ /KAS ^d	3000/500			1948
	2	1961-77	124					Kalkammon- salpeter	1000		5.000	1948
	3	1962	40			1953		CaCO ₃	2000			
Pegnitz	1											
	2	1965-78	135	Fräse	1963	1964		CaMgCO ₃ Hyperphos/kali	3000 500/300	9.600	10.000	
	3											
	4					1971		CaMgCO ₃ Hyperphos/kali	3000 500/300	3.500	10.000	
	5	1971-78	174	Scheibenegge	1971	1976		CaCO ₃ Hyperphos	2500 400		1.200	
	6	1974-78	209 ^a	Scheibenegge	1974							
Selb	1	1963	143									
	2	1965-72	439									
Burglengenfeld	1	1963-76	516			1977		Kalkammon- salpeter	450			1960
	2	1962-74	787			1978		Kalkammon- salpeter	300			
	1	1964-72	182	Scheibenegge/ Fräse	1958/ 1965	1962		CaCO ₃ / Hyperphos	3000/ 500	14.000	1.500	1960
	2	1965-72	441 ^b	Scheibenegge/ Fräse	1966/ 1970	1962		CaCO ₃ / Hyperphos	3000/ 500			
Waldsassen	1	1951-76	805 ^c									
	2	1958-70	430	Zinkenegge	1961/2							
Pfreimd	1											
Amberg	1	1963-71	752 ^a	Fräse	1971	1971/73		CaCO ₃ /Thomas- mehl/KAS/kali	2000/250 150/130	18.000	5.000	1950
Erlangen	1	1972-77	45	Fräse	1963	1978		Kalkammon- salpeter	450		1.000	1940

a) Kiefer und Fichten b) Baumart unbekannt c) hauptsächlich Kiefern d) KAS = Kalkammonsalpeter

Tab. 6 - Waldbauliche Maßnahmen die in den untersuchten Beständen im Zeitraum der Naturverjüngung durchgeführt wurden.

noch Douglasie, Lärche, Winterlinde, Rotbuche, Bergahorn, Hainbuche, Roterle, Vogelbeere und Himbeere gepflanzt. In den anderen Forstämtern spielten solche Beimischungen lediglich eine sehr kleine Rolle. In der Regel wurden Laubhölzer nur in den gezäunten oder ehemals gezäunten Flächen vorgefunden.

3.5 Bestimmung der Überschirmung

BRECHTEL (1962) hat in seiner Untersuchung über Überschirmung und Auflichtung von Kiefernbeständen auf die Problematik hingewiesen, mit der Schätzungen der relativen Beleuchtung anhand von Bestandesparametern, wie Stammdurchmesser, Stammzahl oder Kronenschlußgrad, verbunden sind. Es ist unumstritten, daß für ökologische Untersuchungen möglichst genaue Messungen der Strahlung durchgeführt werden müssen. Diese sind aber von der Witterung abhängig und erfordern eine komplizierte Meßmethodik und hohen Zeitaufwand. Aus Zeit- und Kostengründen waren solche Messungen deshalb indiskutabel; außerdem sollte möglichst praxisnah gearbeitet werden.

Aus BRECHTELS Untersuchungen kann man zwei Resultate entnehmen:

- Die relative Beleuchtungsintensität in einem Kiefernbestand nimmt linear mit der Zunahme der Bestandesgrundfläche ab (Korrelationskoeffizient $-0,89$),
- die Beleuchtungsintensität im Bestand verringert sich linear mit zunehmender Überschirmung (Korrelationskoeffizient $-0,83$).

Diese zwei Ergebnisse deuten auf eine enge Korrelation zwischen Bestandesgrundfläche und überschirmter Fläche hin.

3.51 Untersuchung der Korrelation zwischen der Grundfläche und Kronenprojektionsfläche

Die graphische Darstellung der Kronenprojektionsfläche über der Grundfläche der einzelnen Bäume eines Kiefernbestandes (Abb. 5) deutet eine lineare Regression an. Dies konnte dann auch mit der Regressionsanalyse bestätigt werden.

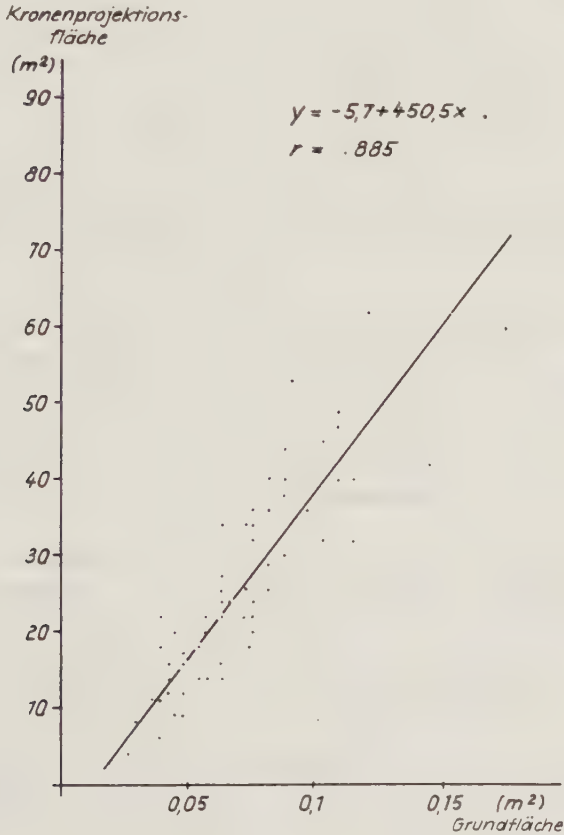


Abb. 5 - Korrelation zwischen den Grundflächen und den Kronenprojektionsflächen bei Kiefern im Bestand Burglengelfeld 1. Die Regressionsgerade ist eingetragen.

Für jeden untersuchten Bestand wurde die Korrelation zwischen Stammgrundfläche und Kronenprojektionsfläche für die Baumarten Kiefer und Fichte berechnet (Tab. 7).

Die Kronenprojektionsfläche jedes Baumes wurde mit folgender Formel errechnet:

$$\text{Kronenfläche} = \frac{\pi}{4} ((r_1 \cdot r_3) + (r_2 \cdot r_3) + (r_2 \cdot r_4) + (r_1 \cdot r_4))$$

$r_1 \dots r_4$ = Radien der Krone

$r_1 + r_2$ = größter Durchmesser der Krone

$r_3 + r_4$ = Durchmesser im rechten Winkel zu $r_1 r_2$

Der höchste Korrelationskoeffizient bei der Kiefer wurde auf Fläche Bamberg 1 gefunden (0,89), der niedrigste auf Fläche Selb 2 (0,50).

Die Regressionsanalyse ergab für jeden Bestand mit nur 2 Ausnahmen - Selb 3 und Amberg 1 - statistisch hochgesicherte Regressionsgeraden. Die Regressionsgerade des Bestandes Amberg 1 überschritt nur die 95%-Signifikanzschwelle. Dagegen standen auf der Fläche Selb 3 nur Überhälter, die verständlicherweise keine statistische Absicherung zuließen.

Die Regressionskoeffizienten schwankten zwischen 80 und 450. Auf den Flächen mit niedrigerer Baumzahl sind - offenbar als Ergebnis der Entnahme von Stämmen mit geringerer Qualität - die Regressionskoeffizienten niedriger als in den Beständen mit geringen Holzentnahmen. Dies läßt vermuten, daß die Bäume mit besserer Qualität schmälere Kronen haben. Eine wichtige Rolle spielt bei dem Zusammenhang von Kronen- und Grundfläche anscheinend auch der Standort, da auf besseren die Regressionskoeffizienten im allgemeinen niedriger waren als auf den schlechteren Standorten. Eine Erklärung hierfür kann nicht gegeben werden, doch wurde dieser Frage auch nicht weiter nachgegangen.

Forstamt	Fläche Nr.	Regressionskoeffizienten		Korrelationskoeffizient	Signifikanz
		a	b		
Bamberg	1	- 6,4	357,2	.888	++
	2	- 2,7	359,5	.765	++
	3	8,6	201,0	.682	++
Pegnitz	1	- 0,4	347,4	.773	++
	2	1,2 (1,6)	257,0 (179,0)	.594 (.666)	++ ++
	3	0,3	280,0	.741	++
	4	4,1	330,1	.793	++
	5	0,6	322,2	.685	++
	6	0,6 (- 9,2)	245,9 (487,7)	.813 (.755)	++ n.s.
Selb	1	5,5	120,5	.738	++
	2	8,9 (3,9)	80,4 (483,5)	.498 (.866)	++ ++
	3	6,8	141,1	.547	n.s.
	4	- 4,9 (9,6)	270,6 (144,1)	.720 (.783)	++ ++
Burglengenfeld	1	- 5,7	450,5	.885	++
	2	- 1,5	403,1	.787	++
Mitterteich	1	7,8 (15,1)	172,8 (160,0)	.645 (.526)	++ n.s.
	2	3,1	263,9	.728	++
Waldsassen	1	- 2,8	299,9	.814	++
	2	1,9	294,9	.779	++
Pfreimd	1	- 4,2	371,4	.788	++
Amberg	1	4,1 (11,7)	224,8 (167,1)	.649 (.852)	+ n.s.
Erlangen	1	4,6	242,0	.688	++

Tab. 7 - Der Zusammenhang zwischen Kronenprojektionsfläche (abhängige Variable) und Grundfläche (unabhängige Variable). Regressions- und Korrelationskoeffizienten. Die Werte in Klammern gelten für die Fichten. Signifikanz: 95 % (+), 99 % (++) .

3.52 Bestimmung der Überschirmung mit Hilfe der Grundfläche

Wie schon vorher erwähnt, kann mit dem BITTERLICH-Relaskop jeder grundflächenabhängige Parameter eines Bestandes geschätzt werden. So auch die Kronenprojektionsfläche/ha eines beliebigen Bestandes ohne Kronenkartierung. Diese Überlegung wird von LOETSCH, ZÖHRER und HALLER (1973) generell folgendermaßen formuliert:

$$Y/ha = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{x_i} \frac{y_{ij}}{g_{ij}} \quad (3)$$

Es bedeuten:

Y/ha = Grundfläche/ha, Baumzahl/ha, Volumen/ha etc.

k = Zählfaktor

n = Zahl der Stichprobepunkte

y_{ij} = Variable des i -ten Baumes der j -ten Probe

g_{ij} = Grundfläche des i -ten Baumes der j -ten Probe

Ist F die Summe der Kronenprojektionsflächen und f die Fläche der Kronenprojektion eines einzelnen Baumes, so lautet Formel (3) jetzt:

$$F/ha = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{x_i} \frac{f_{ij}}{g_{ij}} \quad (4)$$

Da aber die Kronenprojektionsfläche (f) linear mit der Grundfläche zusammenhängt (vgl. Abschnitt 3.51), kann sie mit der Formel

$$f_{ij} = a + b \cdot g_{ij}$$

berechnet werden. Formel (4) kann jetzt geschrieben werden:

$$F/ha = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{x_i} \frac{a+b \cdot g_{ij}}{g_{ij}} = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{x_i} \left(\frac{a}{g_{ij}} + b \right) = \frac{k}{n} (nz) b + \frac{k}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{x_i} \frac{1}{g_{ij}} \cdot a \quad (5)$$

Nun ist a ein Parameter und konstant, so daß

$$\frac{k}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{z_j} \frac{1}{g_{ij}} \cdot a = \frac{ka}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{z_j} \frac{1}{g_{ij}}.$$

Nach Formel (1) in Abschnitt 3.3 (S. 28) ist $G/ha = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^n z_j$ und nach Formel (2) ist

$$N/ha = \frac{G/ha}{g_m} = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{z_j} \frac{1}{g_{ij}}, \text{ so daß}$$

$$\frac{k}{n} \frac{\sum_{j=1}^n z_j}{g_m} = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{z_j} \frac{1}{g_{ij}} \quad \text{und}$$

$$\frac{ka}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{z_j} \frac{1}{g_{ij}} = a \frac{k}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{z_j} \frac{1}{g_{ij}} = \frac{ka}{n} \cdot \frac{\sum_{j=1}^n z_j}{g_m}.$$

Das erste Glied der rechten Seite von Formel (5) ist: $\frac{k}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{z_j} b$. b ist konstant, so daß

$$\frac{k}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{z_j} b = \frac{kb}{n} \sum_{j=1}^n z_j \quad \text{und}$$

$$F/ha = \frac{kb}{n} \sum_{j=1}^n z_j + \frac{ka}{n} \frac{\sum_{j=1}^n z_j}{g_m} \quad \text{oder besser}$$

$$F/ha = \frac{k}{n} \sum_{j=1}^n z_j \left(b + \frac{a}{g_m} \right).$$

Dies bedeutet, daß jedem gezählten Stamm in der Winkelzählprobe ein Überschirmungsfaktor

$$\frac{a}{g_m} + b$$

entspricht. Anhand der Koeffizienten aus Tab. 7 und den d_m aus Tab. 5 wurde für jeden Bestand der Überschirmungsfaktor errechnet (Tab. 8). Multipliziert man nun die Grundfläche/ha mit diesem Faktor, so bekommt man die absolute Kronenprojektionsfläche/ha. Bei den BITTERLICH-Punktstichproben repräsentiert jeder erfaßte Stamm eine Kronenprojektionsfläche, die gleich dem Überschirmungsfaktor ist. Analog wie die Grundfläche/ha, kann nun auch die Kronenprojektionsfläche/ha schnell bestimmt werden.

Forstamt	Fläche Nr.	Überschirmungs- faktor	Grundfläche m ² /ha	Kronenprojek- tionsfläche m ² /ha
Bamberg	1	286,0	23,7	6.787
	2	319,3	18,9	6.036
	3	270,4	28,3	7.651
Pegnitz	1	341,8	26,2	8.953
	2	257,1 (195,1)	7,4 (7,4)	1.915 (1.440)
	3	282,8	12,0	3.393
	4	380,3	19,3	7.351
	5	328,1	10,9	3.567
	6	253,9 (318,0)	21,6 (3,2)	5.483 (1.018)
Selb	1	162,7	14,6	2.379
	2	136,7 (602,5)	18,5 (5,3)	2.525 (3.211)
	3	174,1	3,3	580
	4	217,4 (343,8)	24,0 (12,0)	5.219 (4.125)
Burglengenfeld	1	356,1	29,6	10.540
	2	380,2	30,7	11.691
Mitterteich	1	248,4 (346,6)	16,7 (6,7)	4.141 (2.312)
	2	301,4	24,0	7.233
Waldsassen	1	272,3	26,7	7.283
	2	319,5	21,9	7.012
Pfreimd	1	287,0	27,8	7.980
Amberg	1	262,0 (430,5)	20,0 (8,0)	5.240 (3.444)
Erlangen	1	298,2	14,0	4.190

Tab. 8 - Überschirmungsfaktoren zur Berechnung der Überschirmung je ha und mittleren Kronenprojektionsfläche von den untersuchten Beständen (Kiefern). Die Werte in Klammern gelten für die Fichten.

4. Ergebnisse der Probekreisauszählung

4.1 Die Pflanzendichten

Eine Voraussetzung für die Übernahme von Naturverjüngungen ist eine angemessene Pflanzenzahl, die bis in die Dickungsphase eine den Qualitätsansprüchen genügende Baumdichte garantiert. Deshalb ist die Kenntnis der Pflanzendichten von großer Bedeutung bei der Beurteilung von Naturverjüngungen.

Bei unseren Untersuchungen wurden die Pflanzendichten mittels Probekreisen - nicht nur der Kiefern, sondern auch von Jungpflanzen anderer Baumarten - erfaßt. Sämtliche Bäumchen wurden in den Probekreisen gezählt, unabhängig von ihrer Größe oder ihrem Alter.

Die Aufnahmen zeigten eine große Variation der Pflanzenzahlen pro m^2 auf den Verjüngungsflächen (vgl. Tab. 9). Die Mittelwerte schwankten bei der Kiefer zwischen 0,8 und 16,4 Stck/ m^2 , häuften sich aber um 7 - 8 Stck/ m^2 . Bis auf zwei Flächen blieb der Standardfehler des Mittelwerts unter 20 %, nie jedoch unter 10 %. Dies deutet eine große Variation der Werte auf den einzelnen Probekreisen an, was durch den Variationskoeffizienten bestätigt wird, der immer über 68 % lag, auf 13 Flächen sogar über 100 %.

Bei der Baumart Fichte streuten die mittleren Pflanzenzahlen/ m^2 zwischen 0 und 5,7 Stck/ m^2 . Die Inhomogenität der Werte auf den einzelnen Probekreisen war aber - gemäß den Variationskoeffizienten zwischen 100 und 800 % - sehr viel größer als bei der Kiefer. Entsprechend hoch lagen die Standardfehler der Mittelwerte: Von 17 Mittelwerten war nur bei 4 der Standardfehler geringer als 20 % und bei weiteren 4 über 50 %. Die anderen Baumarten waren in so geringen Dichten und so unregelmäßig vertreten, daß eine statistische Auswertung sinnlos erschien. Bei ihnen wird nur die Pflanzenzahl/ha angegeben.

Forstamt	Fläche Nr.	K i e f e r			F i c h t e		
		Mittelwert Stck/m ²	Standardfehler des Mittels %	Variations- koeffizient %	Mittelwert Stck/m ²	Standardfehler des Mittels %	Variations- koeffizient %
Bamberg	1	12,1	29,0	112	0,0	-	-
	2	3,5	17,7	112	0,0	-	-
	3	7,8	18,1	114	0,0	-	-
Pegnitz	1	9,0	14,1	113	0,2	31,4	247
	2	1,9	17,8	96	3,3	19,2	104
	3	7,2	13,9	76	0,1	69,5	357
	4	7,5	26,6	146	0,3	32,6	177
	5	16,4	12,5	68	0,6	30,1	163
	6	7,5	22,9	144	1,3	21,7	137
Selb	1	3,7	18,1	92	0,5	45,3	233
	2	1,5	20,4	112	0,4	40,3	219
	3	0,8	18,6	102	0,5	21,9	120
	4	2,2	16,2	103	3,6	16,6	105
Burglengenfeld	1	12,9	15,0	95	<0,1	69,8	440
	2	9,4	17,7	112	0,0	-	-
Mitterteich	1	5,0	19,7	125	1,4	16,5	104
	2	7,4	14,4	91	0,2	33,7	218
Waldsassen	1	10,4	11,0	69	0,2	34,8	223
	2	3,6	14,2	90	0,1	56,2	385
Pfreimd	1	7,9	13,6	86	0,0	-	-
Amberg	1	2,1	16,1	102	5,7	19,0	120
Erlangen	1	12,5	19,4	122	<0,1	100,0	800

Tab. 9 - Mittlere Pflanzenzahl pro Probekreis von Kiefern und Fichten, Standardfehler des Mittels und Variationskoeffizient in % auf den Verjüngungsflächen.

In Tab. 10 sind die Dichten für die Verjüngungspflanzen der wichtigsten Baumarten aufgelistet. Bis auf die Flächen in den Forstämtern Selb und Amberg weisen alle anderen sehr hohe Pflanzenzahlen für die Kiefer auf mit meist weit über 20.000, ja sogar bis zu 160.000 Stck/ha - sehr viel höher als bei Kunstverjüngungen üblich.

Von den anderen vorgefundenen Baumarten spielt im allgemeinen nur die Fichte eine wichtige Rolle. Auf 3 Flächen sind die Dichten der Fichten mit Pflanzenzahlen von 30.000-57.000 Stck/ha sogar weit höher als die der Kiefern, die auf diesen Flächen immerhin rd. 20.000 Stck/ha betragen. Zwar sind auf 7 anderen Flächen für die Fichten Dichten von 2.000-14.000 Stck/ha bestimmt worden, doch war die Dichte der Kiefern auf diesen Flächen so hoch, daß die Fichten höchstens einen Anteil von 22 % an der Pflanzenzahl pro Hektar erreichten. Andere Baumarten, wie Buche, Tanne, Birke und Lärche, erzielten absolut gesehen teilweise ebenfalls sehr gute Dichten (1.500-5.000 Stck/ha), sie waren aber auf mehreren Flächen nur gelegentlich vertreten und hatten auf keiner einen wesentlichen Anteil an der Baumzahl je Hektar. Öfters kamen noch Eichen und Weiden dazu. In einigen Verjüngungen wurden zwar weitere Baumarten mit teilweise hohen Stückzahlen/ha künstlich eingebracht. Es handelt sich dabei aber meistens um Hilfsbaumarten, wie Vogelbeere, Winterlinde, Hainbuche, Erle, Bergahorn und Douglasie, die einzeln nur mit sehr geringen Zahlen vertreten waren.

Über optimale Pflanzendichten in Kiefern naturverjüngungen ist fast nichts bekannt. WIEDEMANN (1948) empfiehlt bei Kunstverjüngungen je nach Reihenabstand 10.000-20.000 Stck/ha. Seinen Überlegungen zufolge bewirkt der Dichtstand eine Astreinigung und damit die Entwicklung guter Qualität. Zu ähnlichen Ergebnissen kam KRAMER (1977), der bei Untersuchungen von Kiefern dickungen feststellte, daß je nach Standort 10.000-20.000 Stck/ha bei der Pflanzung ausreichen, da höhere Dichten keine wesentlich größere Ausbeute an Qualitätsstämmen nach ca. 15 Jahren bewirken.

Forstamt	Fläche Nr.	Pflanzenzahlen (Tsd/ha)					
		Kiefer	Fichte	Buche	Tanne	Birke	Sonstige ¹⁾
Bamberg	1	120,7					
	2	35,5		1,7			8,2
	3	77,7					
Pegnitz	1	90,3	1,9				
	2	19,5	32,6	1,9	1,5	0,2	6,0
	3	71,7	0,7			0,3	7,3
	4	75,5	1,5				
	5	163,7	5,7	2,0		0,3	17,0
	6	75,5	13,0	1,5	0,2		2,0
Selb	1	37,3	4,6			0,4	4,6
	2	15,0	3,7				
	3	8,0	5,5	0,2	0,5		0,3
	4	21,7	36,2				0,5
Burglengenfeld	1	129,0	0,5				
	2	94,0					0,5
Mitterteich	1	50,2	14,0				0,2
	2	73,7	2,2			1,5	
Waldsassen	1	104,5	1,7				
	2	36,2	0,7				0,5
Pfreimd	1	79,2				5,0	4,5
Amberg	1	21,5	57,2				0,2
Erlangen	1	124,7	0,2	2,5			6,2

¹⁾ Sonstige: Lärche, Eiche, Douglasie, Vogelbeere, Hainbuche, Winterlinde, Erle

Tab. 10 - Pflanzenzahlen pro Hektar auf den Verjüngungsflächen, nach Baumarten getrennt

Die in unserer Inventur vorgefundenen Pflanzendichten sind, wenn die Pflanzendichten der Kunstverjüngungen als Maßstab genommen werden, vollkommen ausreichend, um in der Zukunft eine genügende Anzahl an Qualitätskiefern zu erreichen.

Die bloße Betrachtung der Pflanzenzahlen kann aber zu falschen Schlüssen über die Verwendbarkeit von Naturverjüngungen führen. Deshalb soll hier darauf hingewiesen werden, daß in jedem Fall das Potential an Pflanzen sehr groß ist und höchstwahrscheinlich einige Ausfälle durch biotische und abiotische Einwirkungen verkraften kann.

4.2 Die Verteilung der Pflanzen auf den Flächen

Außer der Dichte der Pflanzen ist ihre Verteilung auf der Fläche von großer Bedeutung. Häufig wird als Kriterium zur Charakterisierung einer Verteilung der Klumpungsindex herangezogen. Er ist definiert als der Quotient aus der Varianz dividiert durch die mittlere Anzahl der Pflanzen pro Probekreis, also $q = s^2 / \bar{x}$. Bei gleichmäßig verteilten Populationen ist dieser Index kleiner als 1, bei Populationen mit zufälliger Verteilung, die sich einer Poisson-Struktur anpassen, gleich 1 und bei Populationen mit geklumpfter Verteilung größer als 1.

Einschränkend muß bemerkt werden, daß COX (1971) in seinen Untersuchungen feststellte, der Klumpungsindex charakterisiere die Verteilung nicht immer gut, da er auch von der Größe der Probekreise abhängig ist.

Als Alternative bieten sich die Abstandsverfahren an, und von den vielen Möglichkeiten sind die Entfernungen von einem zufällig oder systematisch ausgewähltem Punkt zur nächsten Pflanze als beste für die Darstellung der räumlichen Verteilung der Pflanzenpopulation geeignet.

Nach Berechnung der Kreisflächen, die die Punkt : Pflanze - Entfernungen als Radien haben, ist die Erstellung eines Nullflächendiagramms möglich, welches die Wahrscheinlichkeit zeigt, mit welcher eine vorgegebene Pflanzenzahl pro Flächeneinheit zu erwarten ist (Abb. 6). Als Nullfläche wird die Fläche bezeichnet, auf der keine Pflanze vorhanden ist, gegeben durch den Kreis mit dem Radius r_1 , der gleich der Entfernung vom Stichprobepunkt zur nächsten Pflanze ist. Bei Anwendung des Nullflächendiagramms in dieser Form muß die Dichte der Population bekannt sein.

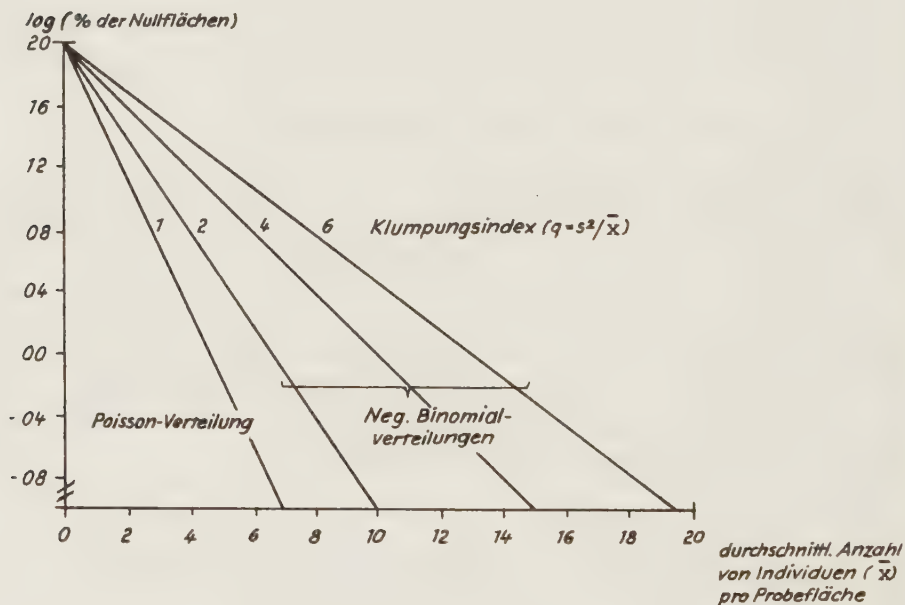


Abb. 6 - Nullflächendiagramme für Populationen mit Poisson-Verteilung und drei Fällen der negativen Binomial-Verteilung (nach COX, 1971).

Die von LOETSCH (1973) vorgeschlagene Alternative ist in der Praxis einfacher zu ermitteln, da nicht mehr mit Pflanzenzahlen je Probekreis gearbeitet wird, sondern mit absoluten Flächengrößen. Zur Beurteilung der Verjüngungen werden in die Nullflächendiagramme vorgegebene Bedingungen in Form von Geraden

eingetragen, die bestimmte Verjüngungspopulationen mit Poisson-Strukturen darstellen (Abb. 7). Der Vergleich mit der empirischen Verteilung zeigt, ob die Verjüngungen eine ausreichende Pflanzenzahl mit zufälliger Verteilung auf der Fläche aufweisen.

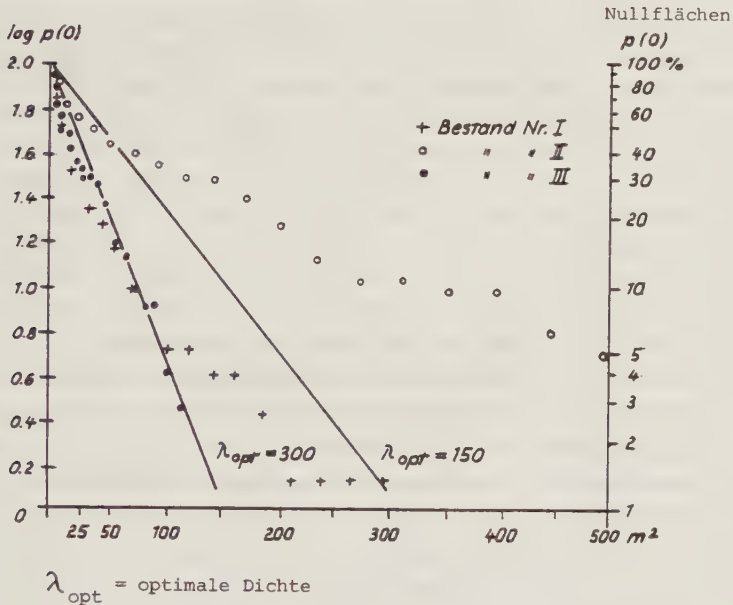


Abb. 7 - Nullflächendiagramme für drei Verjüngungen mit absoluter Flächengröße ohne Berücksichtigung der Pflanzendichte. I - III sind Tetraberlinia-Bestände aus Liberia. Die Populationen bestehen aus Pflanzen über 1,3 m Höhe und mit weniger als 10 cm BHD (aus LOETSCH, 1973).

Bei der Benutzung der Entfernung zwischen Stichprobepunkt und drittnächster Pflanze (r_3) kann das gleiche Nullflächendiagramm angewendet werden, wobei allerdings die Interpretation verändert werden muß. Die Punkte des Nullflächendiagramms deuten in diesem Fall nämlich die Wahrscheinlichkeit an, mit der auf einer gegebenen Fläche 2 Pflanzen gefunden werden können. Diese Abänderung hat hinsichtlich der waldbaulichen Aussage gewisse Vorteile. Es

wird nun nicht die Verteilung von Flächen ohne Pflanzen angegeben, sondern von Flächen, die mit zwei Pflanzen bestockt sind, eine dritte Pflanze steht dann jeweils am Rand des Kreises. Entspricht die Verteilung dieser Flächen den waldbaulichen Anforderungen, so bedeutet dies, daß Pflanzengruppen mit jeweils 3 Pflanzen gut auf der Verjüngungsfläche verteilt sind. Der Ausfall einer Pflanze während der weiteren Entwicklung der Verjüngung hat somit keine Lücke unbekannter Größe zur Folge, da noch 2 Pflanzen auf der Fläche vorhanden sind.

Die Erstellung eines Flächendiagramms ist einfach und erfordert keine komplizierten Rechenarbeiten. Sie kann in folgende Schritte aufgeteilt werden:

- a) Messen der Radien oder der Punkt : Pflanze - Entfernungen,
- b) Ordnen der Radien in steigender Reihenfolge,
- c) Bildung von Klassen bei großer Anzahl von Radien,
- d) Berechnung der abnehmenden Summenhäufigkeiten in %,
- e) Logarithmieren der Prozentwerte,
- f) Berechnung der den Radien entsprechenden Flächen,
- g) Eintragen der Logarithmenwerte über den Flächen in ein Koordinatensystem.

Die Geraden, die vorgegebene Dichten darstellen, werden wie folgt errechnet:

Bedingung 1: Bei Vorliegen einer Poisson-Verteilung ist der Prozentsatz an Leer- oder Nullflächen, die die Größe des Standraums einer Pflanze der Population haben, gleich 36,8 % (COX, 1971). Dies bedeutet bei absoluter Darstellung der Flächengröße im Nullflächendiagramm für eine gegebene Dichte einen Standraum von 1 ha geteilt durch die Pflanzendichte/ha. Da aber die Entfernungen zur dritten Pflanze benutzt werden, verdreifacht sich diese Fläche (z.B. Dichte = 10.000 Pfl/ha, Standraum = 1 m^2 , für $r_3 = 3 \text{ m}^2$). Bedingung 1 ist also ein Punkt im Koordinatensystem mit den Koordinaten 3 und $\log 36,8$).

Bedingung 2: In einer Pflanzenpopulation mit Poisson-Verteilung sind höchstens 5 % der Flächen ohne Pflanzen größer als das Dreifache des Standraums einer Pflanze. Dies bedeutet für das vorangegangene Beispiel eine Fläche von 3 m^2 für die Nullfläche und von 9 m^2 für die Fläche mit zwei Pflanzen. Die Koordinaten des zweiten Punktes sind 9 und $\log 5$.

Verbindet man beide Punkte mit einer Geraden, so bekommt man die Poisson-Verteilung für eine Population mit der Dichte 10.000 Pflanzen/ha. Nach demselben Verfahren werden Geraden für andere Dichten errechnet.

Aus den Flächendiagrammen kann für jede Verjüngung die Wahrscheinlichkeit herausgelesen werden, mit der eine Lücke von vorgegebener Größe zu finden ist. Für die Begutachtung der untersuchten Jungwüchse wurde eine Dichte von 10.000 Pflanzen/ha angenommen, dies entspricht einem Standraum pro Pflanze von 1 m^2 , für die Kreisflächen mit dem Radius vom Stichprobenpunkt zur drittnächsten Pflanze also 3 m^2 . Aus den Flächendiagrammen kann man für diese Flächen die Wahrscheinlichkeit des Auffindens von größeren Lücken entnehmen. Bei hohem Prozentsatz sind viele Lücken vorhanden, bei einem kleinen dagegen ist die Fläche gut bestockt. Je nach Baumartenzusammensetzung können in der Verjüngung höhere Prozentwerte angenommen werden, ehe für Nachbesserung entschieden oder auf die Übernahme der Verjüngung verzichtet wird.

Als Beispiel für die Interpretation der Flächendiagramme sind in Abb. 8 die Flächenverteilungen für drei der 22 Verjüngungen eingetragen. Die Flächendiagramme für alle übrigen Verjüngungsflächen finden sich im Anhang (S.200).

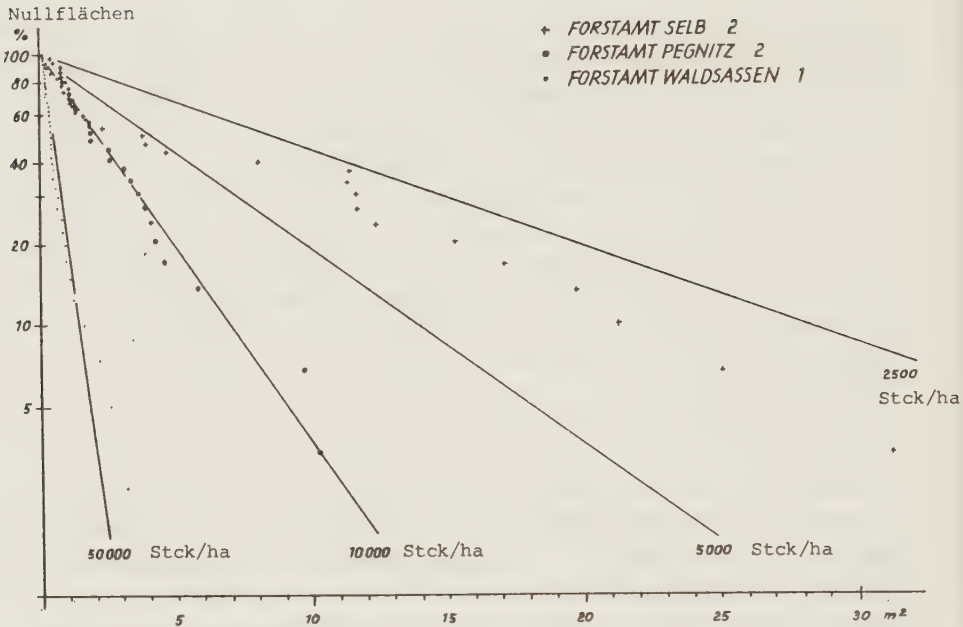


Abb. 8 - Flächendiagramm von drei Kiefernnaturverjüngungsflächen. Die Geraden repräsentieren Populationen mit einer Poisson-Struktur und der angegebenen Dichte.

Die drei Verjüngungen sollen 3 typische Situationen wiedergeben, wie sie bei den Verjüngungsflächen vorkommen. Sie unterscheiden sich sowohl in der Pflanzendichte wie in der waldbaulichen Behandlung markant:

Typ 1: Hohe Pflanzendichten, ohne einleitende waldbauliche Maßnahmen, sehr kleine Lücken (Waldsassen 1),

Typ 2: Mittlere Pflanzendichten, mit einleitenden Maßnahmen und größeren Lücken (Pegnitz 2),

Typ 3: Niedrige Pflanzendichten, ohne einleitende Maßnahmen und großen Lücken (Selb 2).

Zu Typ 1:

Die Punkte liegen auf einer Geraden, die die Poisson-Struktur einer Population mit 50.000 Pflanzen/ha darstellt. Da sich nun aber aus Tab. 10 (vgl. Abschn. 4.1) für die empirische Population eine Dichte von 104.000 Pflanzen/ha entnehmen läßt, ist eine Klumpung in der Population zu vermuten. Diese kann aber als belanglos bezeichnet werden, da eine Fläche von $2,5 \text{ m}^2$ mit weniger als 2 Pflanzen nur mit 5 % Wahrscheinlichkeit zu finden ist.

Zu Typ 2:

Die Punkte liegen auf der Geraden, die eine Population von 10.000 Pflanzen/ha mit Poisson-Struktur darstellt. Aus Tab. 10 entnimmt man eine Dichte von 20.000 Pflanzen/ha. Es besteht also eine Klumpung, die noch annehmbar ist, da das Auffinden einer Fläche von 10 m^2 mit weniger als 2 Pflanzen nur eine Wahrscheinlichkeit von 5 % hat.

Zu Typ 3:

Die Unregelmäßigkeit der Verteilung und die starke Konkavität im oberen Bereich der Punktfolge deuten auf eine stark geklumpfte Verteilung hin, die sich durch den Vergleich mit der Pflanzendichte bestätigen läßt. Die in Tab. 10 wiedergegebene Dichte von 15.000 Pflanzen/ha ist deutlich höher als der Verlauf der Punkte im Flächendiagramm andeutet. Da eine Fläche von 27 m^2 , die nur mit 2 Pflanzen bestockt ist, mit 5 % Wahrscheinlichkeit vorgefunden wird, erfordert die Ausnutzung dieser Verjüngung im jetzigen Stadium eine Auspflanzung der Lücken.

In Tab. 11 werden die Wahrscheinlichkeiten des Auffindens von Kreisflächen mit 3 m^2 Größe, die nur mit 2 Pflanzen bestockt sind, wiedergegeben. Von den untersuchten Naturverjüngungen erfüllten 5 Jungwüchse nicht die Bedingung für eine Verteilung der Pflanzen nach der Poisson-Struktur, da der Prozentsatz an Kreisflächen

Forstamt	Fläche Nr.	Wahrscheinlichkeit %
Bamberg	1	< 5
	2	15
	3	13
Pegnitz	1	6
	2	39
	3	6
	4	13
	5	< 5
	6	41
Selb	1	7
	2	51
	3	55
	4	27
Burglengenfeld	1	< 5
	2	5
Mitterteich	1	35
	2	< 5
Waldsassen	1	< 5
	2	40
Pfreimd	1	< 5
Amberg	1	36
Erlangen	1	< 5

Tab. 11 - Die Wahrscheinlichkeit eine Fläche von 3 m^2 zu finden die nur mit 2 Jungkiefern bestockt ist.

der Größe des Standraums höher als 36,8 % war. 5 Jungwüchse haben eine sehr hohe Pflanzendichte, denn der Prozentsatz an Flächen der Größe des Standraums ist kleiner als 5 %.

Ein Vergleich der durchschnittlichen Pflanzenzahl je ha (vgl. Tab. 10) zeigt, wie irreführend die Erhebung der Pflanzendichten allein ist. Verjüngungsflächen, die hinsichtlich der Dichte befriedigen, haben oft einen großen Prozentsatz an Lücken. Sie müssen also noch zusätzlich behandelt werden, ehe die Verjüngung als gelungen bezeichnet werden kann (wie in Selb 2, Mitterteich 1 und Waldsassen 2). Bei einigen anderen Flächen ist diese Tatsache allerdings nicht besonders gravierend, da diese Lücken sehr wahrscheinlich durch andere Baumarten gefüllt werden (z.B. durch Fichten auf der Fläche Pegnitz 2) oder die Verjüngung schon ein Stadium erreicht hat, in dem die Lücken nicht mehr Einfluß auf die Entwicklung der Bäume ausüben, da diese schon der Dickungsphase entwachsen sind (Fläche Selb 3).

4.3 Die Altersstruktur der untersuchten Naturverjüngungen

Ein weiteres Kriterium zur Beurteilung von Naturverjüngungen ist das Alter der Pflanzen. Durch die Altersanalyse wird die Dynamik des Verjüngungsablaufs erkennbar. Die Altersbestimmung jeder Pflanze ist aber mit erheblichen technischen Problemen belastet.

4.31 Methode der Altersschätzung und ihre Überprüfung

Das Alter der Kiefern und Fichten wurde grundsätzlich an den Astquirlen und Jahrestrieben abgezählt. Zur Überprüfung der Genauigkeit dieser Altersschätzungen wurden von den zur Qualitätsanalyse bestimmten Pflanzen Stammscheiben in 3 cm Höhe über der Sproßbasis entnommen.

Die ersten Analysen dieser Stammscheiben zeigten, daß bei Naturverjüngungspflanzen mit geringem Höhenzuwachs eine Unterscheidung der Jahrringe mit bloßem Auge kaum möglich ist. Aus diesem

Grund wurden von jeder Fläche zehn Kiefern per Zufallsstichprobe ausgesucht und an ihren Stammscheiben die Jahrringe unterm Mikroskop gezählt. Der Vergleich der mikroskopischen Jahrringzählung mit der Altersschätzung im Gelände zeigte nun - wie in Abb. 9 dargestellt -, daß keine genauen Angaben über die Größe des Fehlers bei der Schätzung gemacht werden können. Zwar ist eine leichte Zunahme des Fehlers mit dem Alter der Pflanzen erkennbar, doch läßt sich diese nicht quantifizieren. Überschätzungen, d.h. höhere Alter bei der Astquirl- gegenüber der Jahrringzählung - verursacht durch nicht einwandfreie Differenzierung der Jahrringe - waren zwar seltener, doch konnten sie immerhin bis zu 7 Jahre ausmachen. Unterschätzungen traten dagegen öfter auf. Die Hauptursache hierfür war das Verschwinden der Astnarben im unteren Stammbereich, wodurch sie - vorwiegend bei älteren Bäumen - die Jahrestriebe nicht mehr erkennen ließen. Hier wurden Unterschiede bis zu 12 Jahre beobachtet.

4.32 Die Altersverteilung der jungen Kiefern

Die Analyse der Altersverteilung von Pflanzen in einer Verjüngung gibt Auskunft über die Ansamungsdynamik und über andere Vorgänge, z.B. die Reaktion des Anflugs auf Eingriffe im Schirmbestand, die in einer Momentaufnahme nicht erfaßt werden können. Diese Analyse kann mit Maßzahlen, wie das mittlere Alter, die Variationsbreite oder die Streuung, gemacht werden (VAN MIEGROET, 1956). In Tab. 12 sind die Maßzahlen für das Alter der Kiefern auf den Verjüngungsflächen eingetragen. Kleine Streuungen oder Variationsbreiten bedeuten ein rasches Ankommen der Verjüngung auf einer Fläche, dagegen große Zahlen für diese Werte eine fort-dauernde oder auf große Zeiträume verteilte Ansamung.

Das mittlere Alter des Kiefernjungwuchses variierte auf den untersuchten Flächen von 3 bis 19 Jahren, mit Schwerpunkt in dem Bereich von 9 bis 15 Jahren (13 Flächen). Die Streuung der Alter auf den einzelnen Flächen ist unterschiedlich. Neben Flächen mit sehr kleinen Variationskoeffizienten von etwa 10 %,

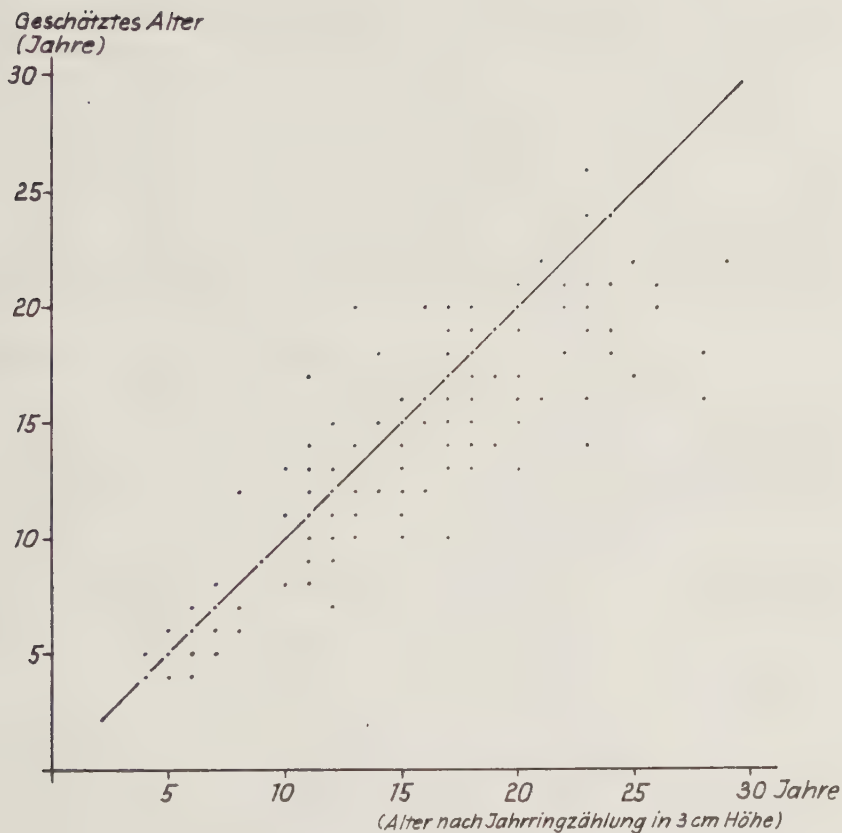


Abb. 9 - Überprüfung der Altersschätzung (Quirlzählung) von Kiefern aus Naturverjüngung. Die eingezeichnete Gerade steht für die genaue Schätzung: geschätztes Alter = Alter nach Jahrringzählung in 3 cm Höhe. Sie ist keine Regressionsgerade.

Forsamt	Fläche Nr.	K i e f e r			F i c h t e		
		Mittleres Alter Jahre	Standardfehler des Mittels %	Variations- koeffizient %	Mittleres Alter Jahre	Standardfehler des Mittels %	Variations- koeffizient %
Bamberg	1	8,4	3,7	50	-	-	-
	2	12,6	2,1	25	-	-	-
	3	12,3	2,6	46	-	-	-
Pegnitz	1	5,7	3,0	71	-	-	-
	2	6,1	3,6	38	6,9	2,9	40
	3	3,9	2,7	40	-	-	-
	4	5,6	3,4	72	-	-	-
	5	3,3	2,5	55	-	-	-
	6	2,8	3,4	59	8,8	5,8	42
Selb	1	9,3	1,0	10	-	-	-
	2	11,8	7,1	48	-	-	-
	3	19,3	1,8	13	-	-	-
	4	9,4	9,7	90	4,9	9,4	113
Burglengenfeld	1	12,5	1,7	39	-	-	-
	2	11,1	2,8	53	-	-	-
Mitterteich	1	7,2	7,0	99	10,5	6,4	48
	2	11,1	1,3	22	-	-	-
Waldsassen	1	17,9	2,4	48	-	-	-
	2	12,8	6,3	76	-	-	-
Pfreimd	1	12,0	1,8	32	-	-	-
Amberg	1	11,8	6,2	58	7,6	5,1	77
Erlangen	1	11,4	0,7	15	-	-	-

Tab. 12 - Statistische Kenngrößen der Altersverteilung von Kiefern und Fichten auf den Naturverjüngungsflächen

die auf eine schnelle Ansamung weisen, gibt es auch Flächen mit sehr großen Variationskoeffizienten von rd. 100 %, auf denen eine langsamere Ansamung erfolgte. Der statistische Fehler der Aufnahmen war sehr gering, maximal 10 %. Er wird aber natürlich stark von dem Fehler bei der Schätzung überlagert.

Auf den Flächen, auf denen die Fichte einen großen Anteil am Jungwuchs aufwies, wurde auch das mittlere Alter für diese Baumart berechnet. Es schwankte zwischen 7 und 10 Jahren. Auf 2 Flächen waren die Fichten im Durchschnitt jünger als die Kiefern, auf 3 Flächen dagegen älter. Der Altersunterschied betrug maximal 6 Jahre. Die Variationskoeffizienten lagen zwischen 40 und 113 %, der Standardfehler des Mittels immer unter 10 %. Da bei den Fichten keine Überprüfungen des Alters vorgenommen wurden, ist auch der Schätzfehler bei der Altersbestimmung nicht bekannt.

Anschaulich und damit geeignet für eine Detailanalyse ist die graphische Darstellung der Altersverteilung. In Abb.10 - 12 sind wiederum beispielhaft einige für den Altersaufbau der Verjüngung interessante Flächen herausgegriffen worden. Die Graphiken der übrigen Flächen sind im Anhang dargestellt. Die ausgewählten Flächen sollen drei Typen von Altersverteilungen illustrieren:

- Typ 1: Ansamung über längere Zeiträume;
- Typ 2: Ansamung in kurzen Zeiträumen;
- Typ 3: Ansamung in Wellen (an Säumen).

Zu Typ 1:

Abb.10 zeigt die Altersstruktur zweier Naturverjüngungen, Bamberg 3 und Waldsassen 1, die sich über längere Zeiträume angesamt haben. Dies bedeutet, daß immer wieder günstige Bedingungen für die Verjüngung geschaffen wurden, sei es durch Eingriffe im Schirm, sei es durch zufällige Bodenstörung, durch Holzrücken oder Wild, z.B. durch die Wühlarbeit von Wildschweinen.

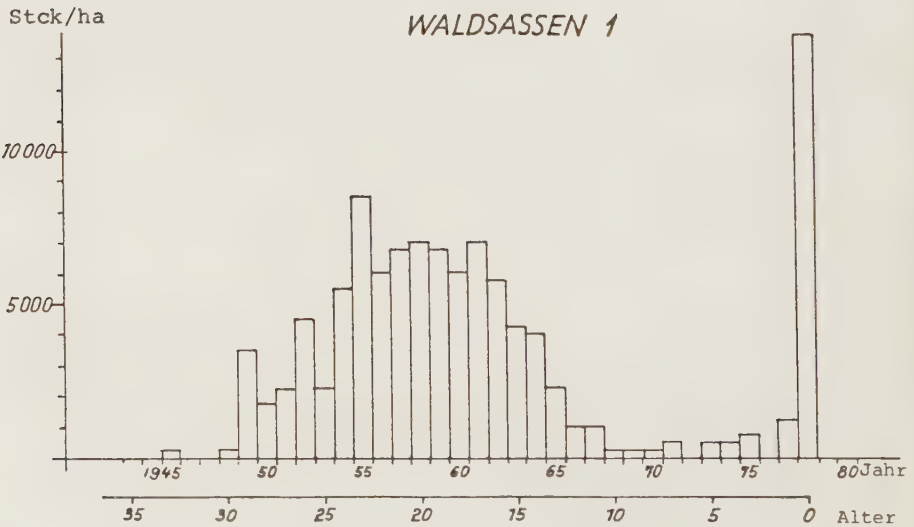
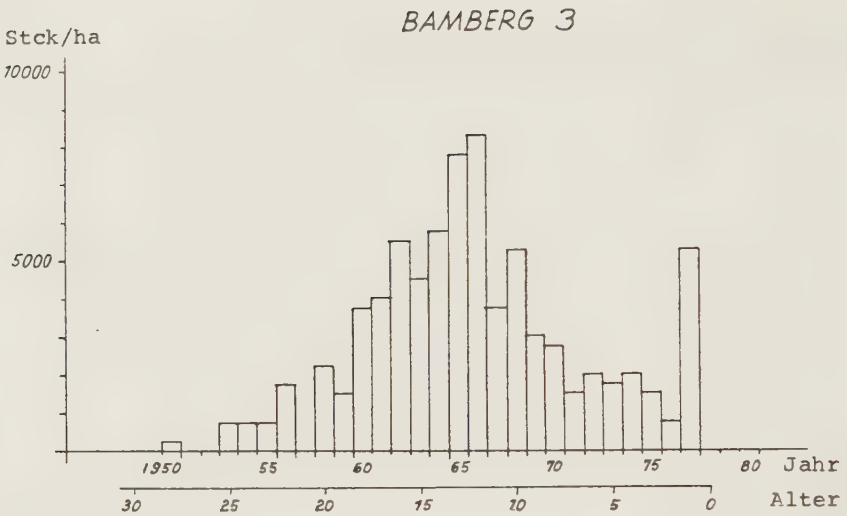


Abb. 10 - Altersverteilung der jungen Kiefern auf zwei Verjüngungsflächen ohne fördernde waldbaulichen Maßnahmen.

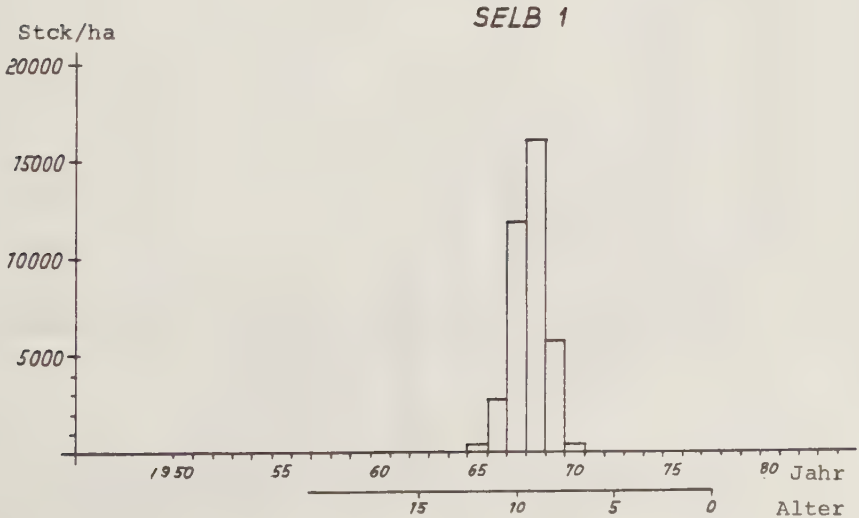
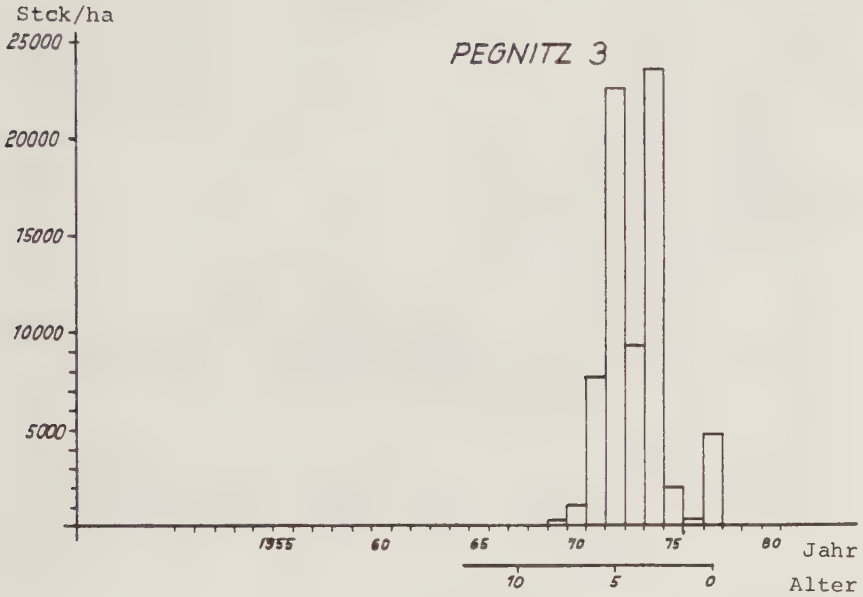


Abb. 11 - Altersverteilung der jungen Kiefern auf zwei Verjüngungsflächen mit fördernde waldbaulichen Maßnahmen.

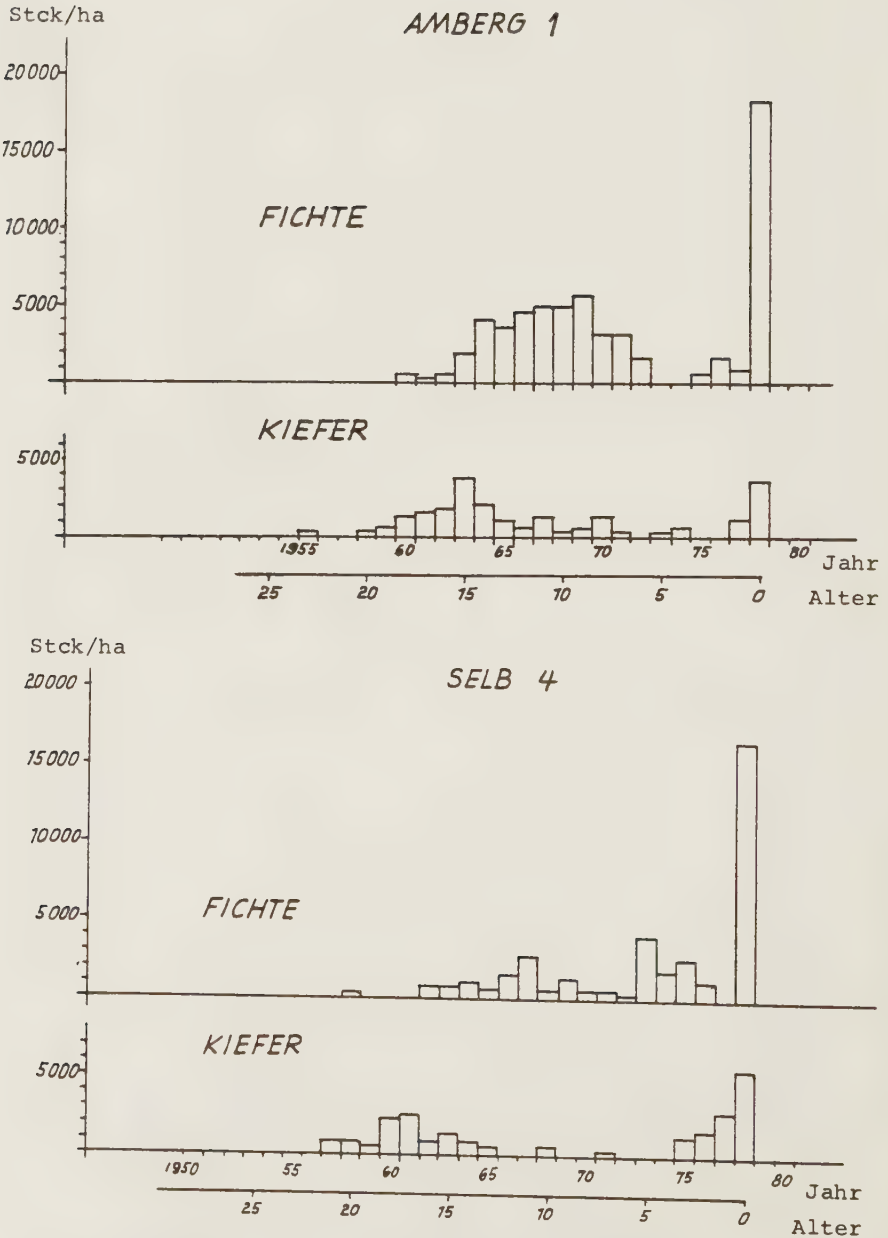


Abb. 12 - Verteilung der Alter von jungen Kiefern auf zwei Verjüngungsflächen die im Saumschlagverfahren entstehen.

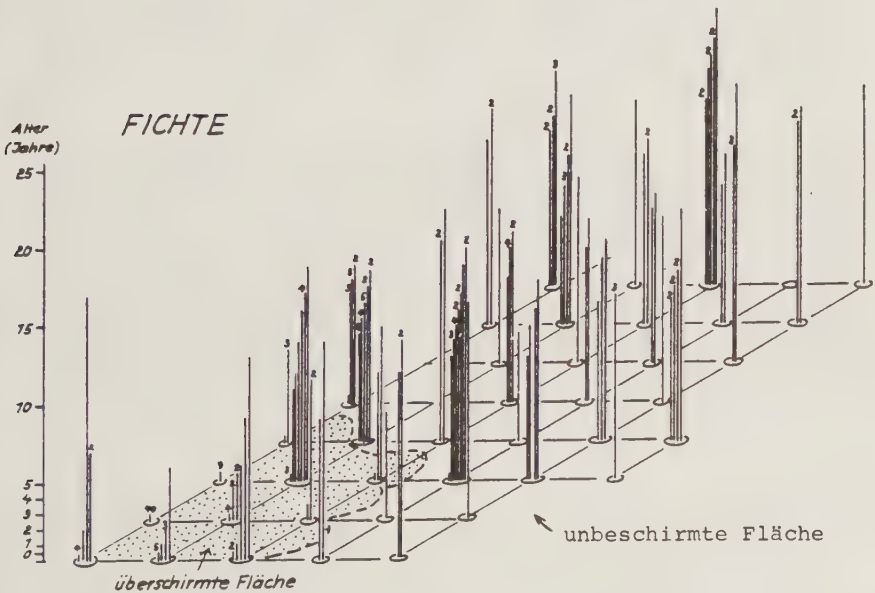
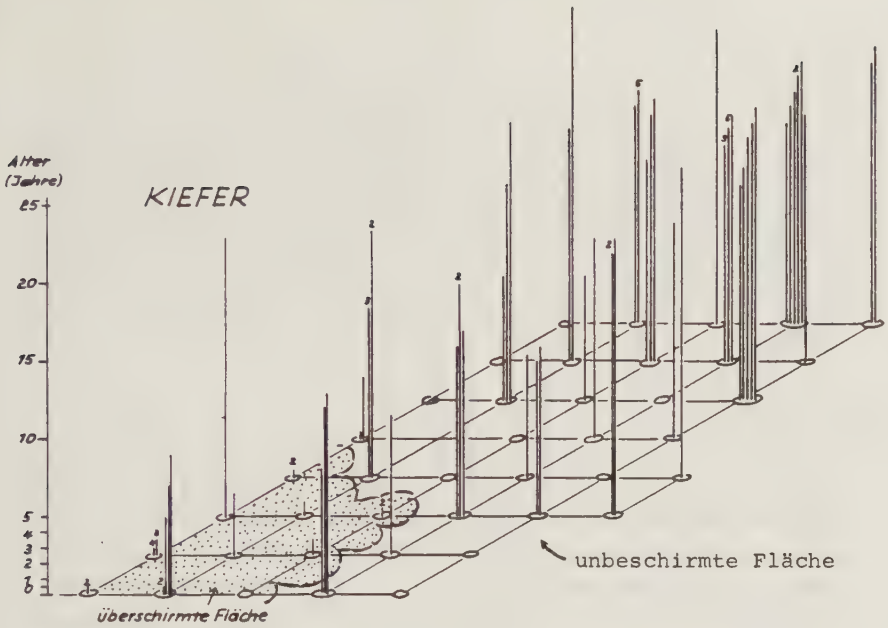


Abb. 13 - Altersverteilung der jungen Kiefern und Fichten auf den Probekreisen der Fläche Amberg 1.
Die Zahlen über den Säulen sind die Häufigkeiten.

Zu Typ_2:

Bei gezielten Eingriffen zur Förderung der Naturverjüngung ist die Variationsbreite der Alter bedeutend geringer. Als Beispiel dafür stehen die Naturverjüngungen, deren Altersaufbau in Abb.11 dargestellt wird. Bei diesen Verjüngungen hat die gute Jugendentwicklung eine schnelle Deckung des Bodens zur Folge, so daß es zu keinem Fußfassen der späteren Ansamung mehr kommt.

Zu Typ_3:

Bei bestimmten waldbaulichen Behandlungen, wie dem Saumschlagverfahren, können aber auch auf den verschiedenen Teilflächen unterschiedlich alte Kiefernpopulationen entstehen, die mit dem jeweils durchgeführten Hieb in Zusammenhang stehen. Dann sind die gesamten Maßzahlen Mittelwert und Streuung ausgesprochen irreführend. Dafür sind die zwei in Abb. 12 wiedergegebenen Flächen typisch. Sie haben jeweils zwei klar voneinander abgesetzte Altersgruppen. Auf diesen beiden Flächen ist auch Fichtenjungwuchs in großer Zahl vorhanden. Verglichen mit der Altersverteilung der Kiefern ist ein anderer Ablauf der Ansamung zu beobachten.

Möglicherweise sind bei der Baumart Fichte die Fehler bei der Altersschätzung größer. Trotzdem ist es höchst wahrscheinlich, daß die Fichtenpopulationen anders auf Eingriffe im Altbestand reagieren. Vergleicht man nämlich die in Abb. 13 dargestellten Altersverteilungen von Fichte und Kiefer der Aufnahmefläche Amberg 1, so ergibt sich bei der Fichte deutlich ein homogenerer Altersaufbau als bei der Kiefer, die vorwiegend auf der jetzt unbeschränkten Fläche stockt.

4.4 Morphologische Merkmale des Jungwuchses

4.41 Die Differenzierung der Pflanzenhöhen

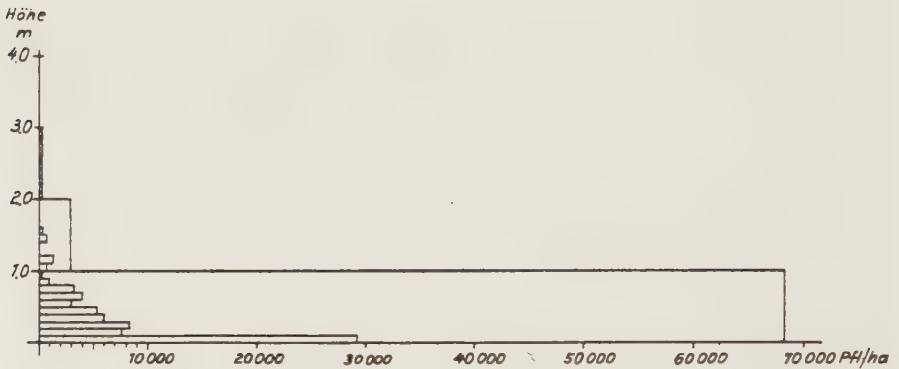
Bedeutend wichtiger als das Alter für eine Beurteilung von Verjüngungen ist ihre Höhenstrukturierung, da ökologische Einflüsse auf das Wachstum der Bäumchen mit unterschiedlichen Höhen auch unterschiedliche Wirkungen haben. Waldbaulich gesehen können Naturverjüngungen mit großen Pflanzenzahlen trotzdem abgelehnt werden, wenn sie nämlich nur viele minderwertige und relativ wenig wertvolle Bäumchen enthalten. Tatsächlich ist aber die Zahl der wertvollen Kiefern meist viel größer als für eine Übernahme der Verjüngung notwendig ist.

In dieser Untersuchung wurden die Höhen aller Pflanzen einzeln gemessen, um eine möglichst genaue Wiedergabe des Höhenaufbaus zu bekommen. Bei der Auswertung wurden die Bäume dann in 10 und 100 cm breite Höhenklassen gruppiert und graphisch dargestellt.

In den Abb. 14 - 16 sind die Höhenverteilungen der jungen Kiefern von 6 der untersuchten Flächen dargestellt und im Anhang die graphischen Darstellungen der übrigen 16 untersuchten Jungwüchse wiedergegeben. Die 3 Abbildungen sollen 5 verschiedene Phasen der Höhenentwicklung des Jungwuchses illustrieren:

- Phase 1: Jungwüchse mit geringer Altersstreuung und noch nicht abgeschlossener Ansamung (Abb. 14a).
- Phase 2: Jungwüchse mit geringer Altersstreuung und abgeschlossener Ansamung (Abb. 14b).
- Phase 3: Jungwüchse mit großer Altersstreuung und geringer Ansamung (Abb. 15a + b).
- Phase 4: Jungbestände (Abb. 16a).
- Phase 5: Jungwüchse aus Samverjüngungen (Abb. 16b).

PEGNITZ 3



SELB 1

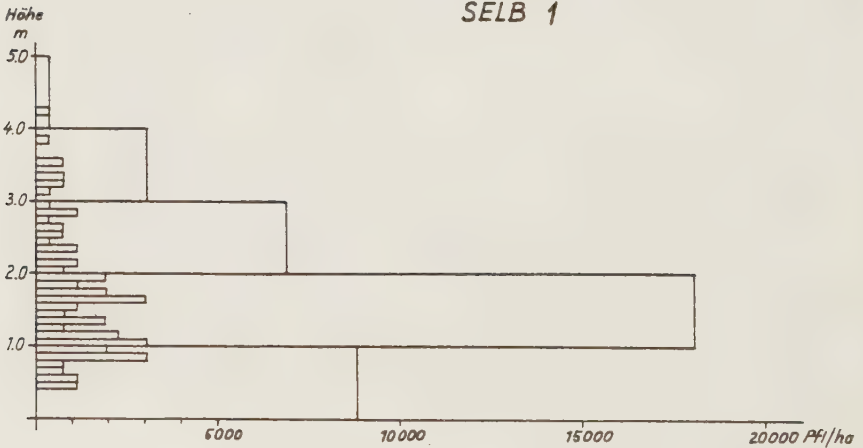


Abb. 14 a + b - Verteilung der jungen Kiefern nach ihren Höhen auf zwei Verjüngungsflächen, mit einer Verjüngung im Anfangsstadium (oben) und einer schon abgeschlossenen Verjüngung (unten).

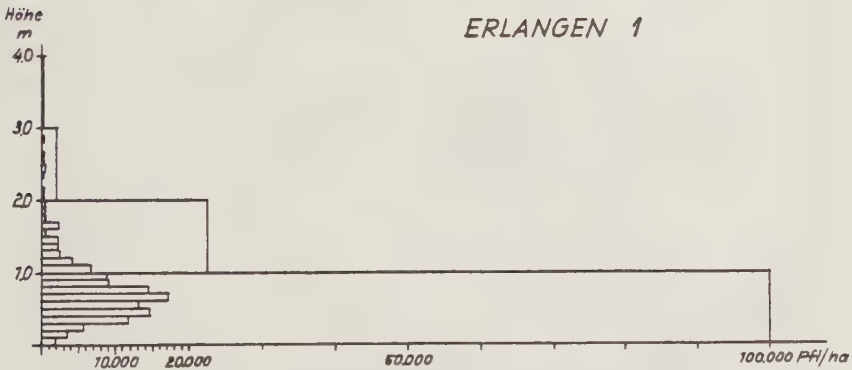
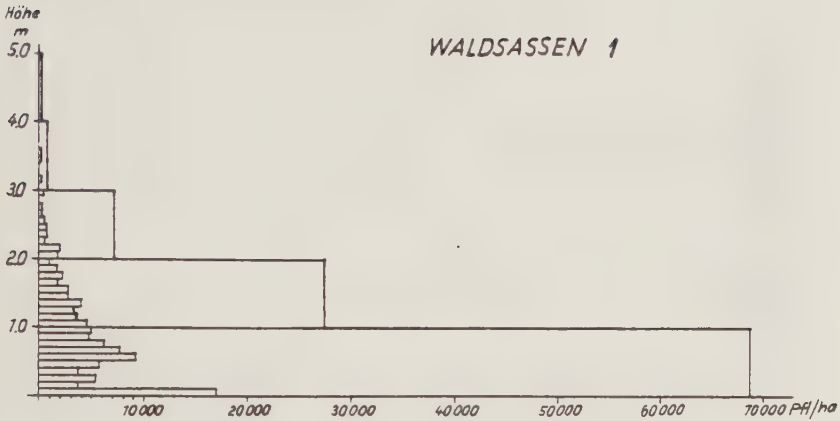


Abb. 15 a + b - Verteilung der Höhen von jungen Kiefern auf zwei Verjüngungsflächen in zwei Phasen der Naturverjüngung: Mit noch jährlicher Ansamung (oben) und mit schon abgeschlossener Ansamung (unten).

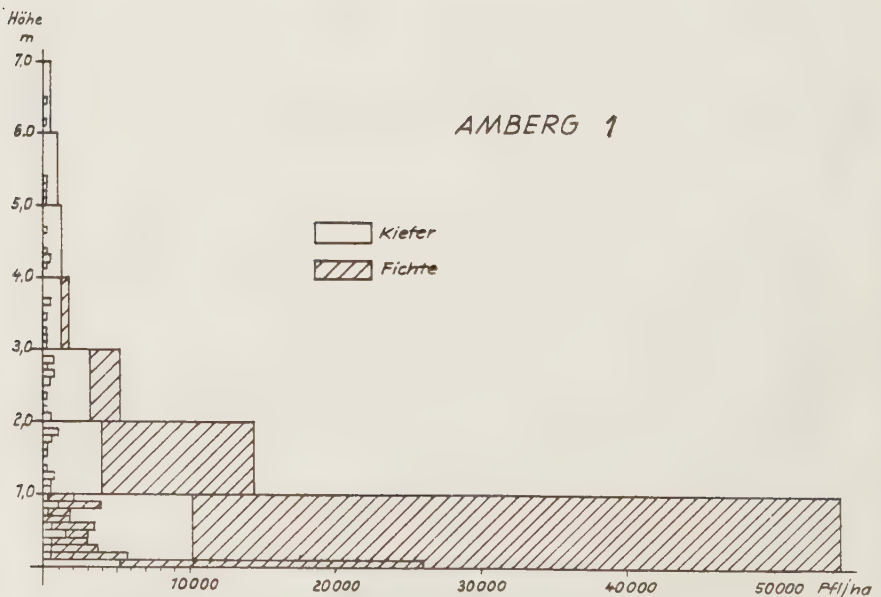
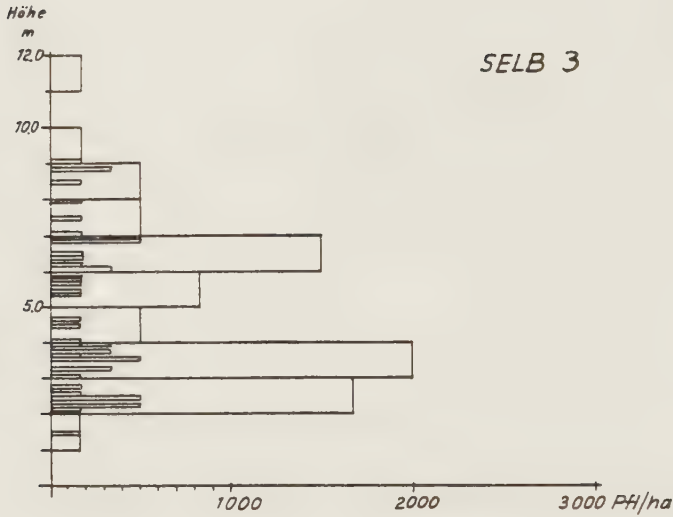


Abb. 16 a+b - Verteilung der Höhen der jungen Kiefern und Fichten auf zwei Verjüngungsflächen. Oben eine abgeschlossene Verjüngung und unten eine Verjüngung im Saumschlagbetrieb.

Zu Phase 1: Jungwüchse mit geringer Altersstreuung und noch nicht abgeschlossener Ansamung.

Merkmal dieser Jungwüchse ist eine große Anzahl Bäumchen, die kleiner als 10 cm sind. Mit zunehmender Höhe verringern sich die Pflanzenzahlen, anfangs schnell, später langsamer. Ein Beispiel ist Fläche Pegnitz 3. Auf dieser Fläche begann die Ansamung vor ca. 6 Jahren, und trotz des geringen Alters haben mehr als 3.000 Pflanzen/ha schon eine Höhe von mindestens 1 m erreicht (Abb. 14a).

Zu Phase 2: Jungwüchse mit geringer Altersstreuung und abgeschlossener Ansamung.

Trotz geringer Altersstreuung zeigt sich auf diesen Flächen eine größere Höhendifferenzierung, weiterhin sind, im Gegensatz zu der vorher beschriebenen Phase, die unteren Höhenklassen nicht oder sehr gering besetzt (Abb. 14b). Die Höhenverteilung läßt deutlich erkennen, daß es auf diesen Flächen keine Entwicklungsmöglichkeiten mehr für neuen Anflug gibt, da z.B. auf Fläche Selb 1 ca. 10.000 Pflanzen/ha höher als 2 m sind.

Zu Phase 3: Jungwüchse mit großer Altersstreuung und geringer Ansamung.

Es gibt Jungwüchse mit einer großen Altersstreuung. Das war bereits anhand der Abb.10 für die Fläche Waldsassen 1 demonstriert worden. Doch auch auf diesen Flächen kommt die weitere Ansamung ins Stocken. Die Gründe dafür können aus den Höhenverteilungen, die in Abb. 15 dargestellt sind, entnommen werden. Die Jungwüchse auf der Fläche Waldsassen 1 werden zwar - dem Altersaufbau zufolge - noch durch teilweise gute Ansamung ergänzt. Das wird auch in der Höhenverteilung sichtbar: ca. 17.000 Pflanzen/ha sind weniger als 10 cm groß. Es zeigt sich aber schon eine starke Höhendifferenzierung mit deutlich geringerer Besetzung der unteren Klassen. Die Ursache für das Zurückgehen der Ansamung ist die große Zahl der Bäumchen - mehr als 30.000 Stck/ha - die höher als 1 m sind,

8.000 Stck/ha sind sogar über 2 m hoch. Auf der Fläche Erlangen 1 (Abb. 15b) kommt diese Differenzierung noch deutlicher zum Ausdruck. Zwar sind 100.000 Pflanzen/ha kleiner als 1 m, die untersten Höhenklassen sind aber, verglichen mit der gesamten Pflanzenzahl, sehr schwach besetzt. Gegenüber der hohen Zahl an Pflanzen, die kleiner als 1 m sind, ist die Zahl der Pflanzen über 1 m Höhe (ca. 24.000 Stck/ha) sehr gering. Absolut gesehen, reichen diese aber vollkommen aus, um einen guten Jungbestand zu bilden.

Zu Phase 4: Jungbestände.

Jungbestände haben eine sehr große Höhenstreuung, wie in Abb. 16a ersichtlich. Als Beispiel sei dazu die Fläche Selb 3 herangezogen. Auf ihr variiert die Höhe der jungen Kiefern nämlich von 1,5 bis 11,2 m. In diesen Beständen ist keine Ansamung mehr möglich. Es deutet sich weiterhin eine beginnende Zweischichtigkeit an. Die Pflanzenzahl/ha hat sich auch auf nur noch ca. 3.700 Stck/ha über und 4.300 Stck/ha unter 5 m Höhe verringert.

Zu Phase 5: Jungwüchse aus Saumverjüngungen.

Im Saumschlagverfahren werden die Verjüngungsflächen nicht einheitlich behandelt, sondern jeweils nur auf Teilflächen. Daraus ergeben sich besondere Formen in der Höhenverteilung (Abb. 16b). Die dargestellte Höhenverteilung der Kiefern auf Fläche Amberg 1 zeigt eine große Höhendifferenzierung des Jungwuchses mit hoher Streuung (von 0 - 6,5 m Höhe) und geringer Besetzung der einzelnen Höhenklassen. Nur die untersten Höhenklassen sind besser ausgestattet. Die Form dieser Verteilung steht sehr wahrscheinlich mit den Hieben in Zusammenhang. Vor dem Eingriff entwickelt sich der Jungwuchs am Saum, und durch das einseitige Lichtangebot werden die dem Saum benachbarten Bäumchen höher als die, die weiter im Bestand stehen. Wir dieser Saum abgeräumt, haben die größeren

Pflanzen bessere Wuchsleistungen, es kommt zu einer raschen Differenzierung, und am Rand des neuen Saums können die dort bereits angesamten Kiefern jetzt endgültig Fuß fassen. Im Anfangsstadium, ehe sich wieder eine Differenzierung wegen des Saumes ergibt, hat dieser Anflug eine relativ einheitliche Höhe, und so kommt es zu der stärkeren Besetzung der untersten Klassen.

Von der Höhendifferenzierung her, ohne Berücksichtigung des Alters, kann eine Entwicklung angenommen werden, die sich aus der Flächenfolge Pegnitz 3, Waldsassen 1, Erlangen 1, Selb 1 und 3 ergibt (Abb. 14 - 16). Diese Folge beginnt mit Jungwüchsen, die eine geringe Höhendifferenzierung und starke Besetzung der untersten Klassen ihrer Höhenverteilung aufweisen und führt nach zunehmender Streuung der Höhen und abnehmender Besetzung der untersten Höhenklassen zu Jungbeständen mit großer Höhendifferenzierung und keinen Bäumchen in den niedrigeren Höhenklassen.

In den Abb. 14 und 15 wird deutlich, daß die breiteren Höhenklassen (1 m) die Verteilung der Höhen sehr ungenau wiedergeben. Dies wird besonders gut sichtbar auf der Fläche Waldsassen 1 (Abb. 15a). Dort lassen sich zwar, wie in Abb. 10 bereits gezeigt wurde, immer noch Keimlinge und junge Kiefern vorfinden, doch gibt es der Höhenverteilung zufolge eine abrupte Abnahme von den Pflanzen bis 10 cm Höhe zu den höheren. Ein kontinuierlicher Übergang ist dagegen bei der Fläche Pegnitz 3 (vgl. Abb. 14a) zu beobachten.

4.42 Die Korrelation von Höhen- und Durchmesserwerten

Zur Beurteilung der Qualität von Jungwüchsen wird oft die Schlankheit des Schaftes der jungen Bäumchen als Kriterium herangezogen. Aus der Ertragskunde ist der Quotient aus Höhe und Brusthöhendurchmesser als Schlankheitsgrad bekannt (PRODAN, 1965). Für den Forstmann ist der Schlankheitsgrad bei jungen und mittelalten Bäumen ein Weiser für die Sturm- und Schneebruchgefährdung.

In Naturverjüngungen kommen aber - je nach Entwicklung - viele Bäumchen mit weniger als 1,3 m Höhe vor, so daß eine andere Höhe zur Messung des Durchmessers genommen werden muß. In unseren Untersuchungen wurde der Durchmesser in 10 cm Höhe benutzt, da bei jungen Pflanzen in dieser Höhe der Wurzelanlauf sich nicht mehr bemerkbar macht und die meisten Bäumchen schon höher als 10 cm sind.

Ein Quotient $h/d_{10\text{ cm}}$ hat den Nachteil, daß der Durchmesser - bei variierenden Höhen - immer in gleicher Höhe gemessen wird. Dies führt bei großen Höhenschwankungen zu nicht vergleichbaren Resultaten, so daß eine andere Form der Beziehung gesucht werden muß, um die Schaftform exakt zu beschreiben.

Das ist zunächst mit Hilfe der Regressionsanalyse möglich - aber auch dem Schlankheitsquotienten, auf den in Abschn. 4.52 eingegangen wird. Die Höhen und die Durchmesser der jungen Bäume stehen offenbar in einem Zusammenhang, wie sich nach Eintragen der Daten der Fläche Selb 3 in ein Koordinatensystem zeigt (Abb. 17).

Der Anstiegskoeffizient b der eingezeichneten Geraden kann als Vergleichsgröße zwischen den Bäumchen verschiedener Verjüngungen herangezogen werden. Pflanzen, deren Punkte über der Geraden liegen, haben einen höheren Schlankheitsgrad als der Durchschnitt, Pflanzen mit Werten darunter analog einen geringeren Schlankheitsgrad. In Tab. 13 sind die Koeffizienten für die repräsentativen Geraden sämtlicher untersuchten Flächen eingetragen.

Die Anstiegskoeffizienten (b) der Geraden variieren zwischen 5,7 und 10,7. Von den 22 Flächen haben 19 einen Anstiegskoeffizienten zwischen 6,0 und 9,0 und 14 zwischen 6,0 und 8,0. Höhere Anstiegskoeffizienten bedeuten schlankere Schäfte. Schwieriger ist die Interpretation des Koeffizienten a , der den Punkt angibt, an dem die Gerade die Ordinate (Achse der Höhen im Koordinatensystem) schneidet. Theoretisch müßte dieser Koeffizient gleich 10 sein, denn erst ab dieser Höhe können bei den Pflanzen Durchmesser gemessen werden. Auf 9 Flächen ist er aber kleiner als 10,

Forstamt	Fläche Nr.	Regressionskoeffizienten ⁺⁾		Korrelationskoeffizient
		a	b	
Bamberg	1	10,4	7,5	.953
	2	18,7	7,3	.923
	3	8,7	8,8	.945
Pegnitz	1	3,8	7,6	.956
	2	14,6	7,2	.963
	3	6,9	5,7	.977
	4	4,3	7,1	.974
	5	5,5	6,8	.974
	6	4,0	6,3	.964
Selb	1	50,6	6,3	.934
	2	16,4	7,4	.919
	3	153,0	7,1	.859
	4	24,2	6,0	.933
Burglengenfeld	1	5,6	8,8	.938
	2	3,6	10,7	.967
Mitterteich	1	6,0	8,8	.970
	2	23,8	6,1	.937
Waldsassen	1	12,1	9,3	.950
	2	12,4	8,7	.974
Pfreimd	1	12,0	8,1	.946
Amberg	1	40,2	6,8	.928
Erlangen	1	21,0	7,2	.918

^{+) Höhe = a + b.d₁₀ cm}

Tab. 13 - Regressions- und Korrelationskoeffizienten der linearen Korrelation zwischen Höhe und Durchmesser in 10 cm Höhe der Kiefern aus Naturverjüngung

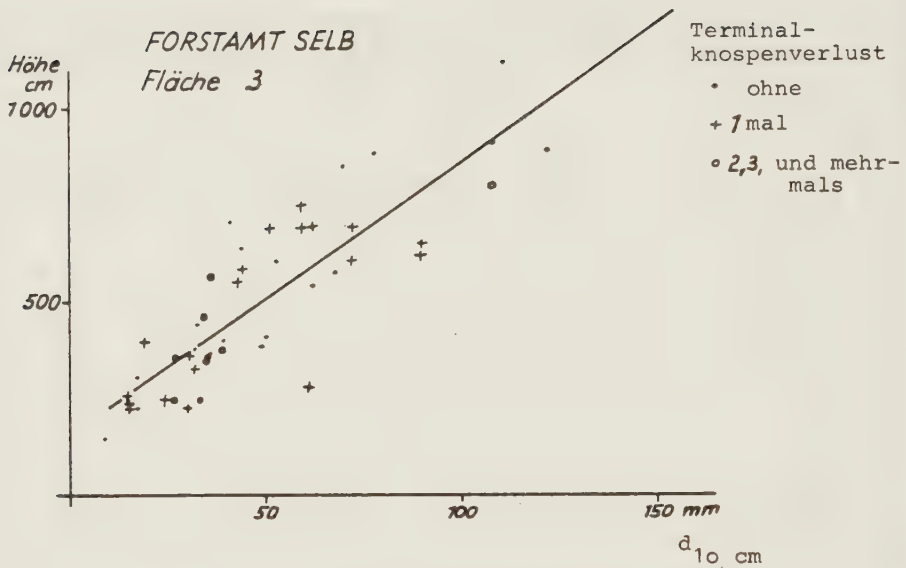


Abb. 17 - Korrelation der Höhen- und Durchmesserwerte bei keinem, einem oder mehrmaligem Verlust der Terminalknospe bei Kiefern. TKV = Terminalknospenverlust.

auf 6 Flächen größer als 20. Im Jungbestand Selb 3 erreicht er sogar 153. Die Regressionsgeraden geben nur eine Situation wieder, wie sie in den Populationen im Augenblick herrscht. Sie machen keine Aussage über den Entwicklungstrend des Verhältnisses von Höhe zu Durchmesser bei Durchmesserwachstum.

Auf allen Flächen lagen die Korrelationskoeffizienten der beiden Variablen (h und d_{10} cm) über 0,85, nur auf zwei Flächen unter 0,9, auf 5 Flächen erreichten sie sogar Werte um 0,97 und darüber.

Ein Vergleich zwischen den durchschnittlichen Schlankheitsgraden des Jungwuchses auf vier Flächen (Abb. 18) zeigt, daß bei abnehmender Überschildung auch die Schlankheit abnimmt, da das Wachstum des Durchmessers mehr als das der Höhe durch Auflichtung angeregt wird (WIEDEMANN, 1926).

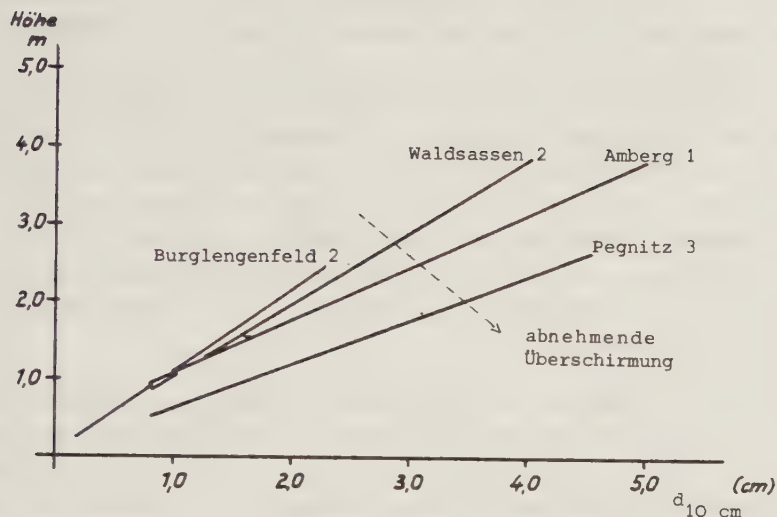


Abb. 18 - Regressionsgeraden für den Zusammenhang zwischen Höhe und Durchmesser in 10 cm Höhe bei den Kiefern von 4 ausgewählten Untersuchungsflächen.

Eine Abweichung von der Regel der abnehmenden Schlankheit bei geringerer Überschirmung zeigten die Kiefern der Fläche Pegnitz 3 gegenüber denen von Fläche Amberg 1. Obwohl diese Fläche nämlich größtenteils freigestellt ist und das Überschimmungsprozent unter dem von Pegnitz lag, waren die jungen Kiefern in Amberg schlanker. Der Grund für dieses regelwidrige Verhalten ist wahrscheinlich in den waldbaulichen Maßnahmen des Pegnitzer Verfahrens: Bodenbearbeitung und Düngung, zu sehen, das dort angewendet wurde und das Durchmesserwachstum trotz teilweisen Lichtentzugs offenbar angeregt hat.

Ein weiterer Faktor, der die Schlankheit von kleinen Stämmchen beeinflussen könnte, ist der Verlust von Terminalknospe bzw. -trieb - im wesentlichen durch Wildverbiß. Bei solchen Bäumen wird das Höhenwachstum zeitweilig unterbrochen, ohne daß eine

Verminderung des Durchmesserwachstums eintritt. Diese Reaktion läßt sich aber nicht aus den in Tab. 14 und Abb. 17 dargestellten gemessenen Werten ableiten. Die Erklärung für die nicht feststellbare Verminderung der Schlankheit ist, daß beim Verlust der Terminalknospe ein Ast des obersten Quirls die Rolle des Sprosses übernimmt, und da in diesem Fall nicht die senkrechte Höhe, sondern die Sproßlänge für die Regressionsanalyse verwendet wurde, wirkt sich der Verlust kaum aus. Viele Kiefern ersetzen den Leittrieb mit sich aufrichtenden Seitenzweigen so perfekt, daß die Schädigung nach einigen Jahren kaum noch zu sehen ist.

Ein zweiter Grund für die Erhaltung der Schlankheit könnte sein, daß durch den Verbiß zwar eine Reduktion der oberirdischen Biomasse stattfindet, ohne daß auch Wurzelmasse gleichzeitig reduziert wird. Dies könnte zu einer stärkeren Belieferung der restlichen oberirdischen Organe mit Nährstoffen und damit zu einem besseren Höhenwachstum des ausgewählten Seitentriebes führen.

Eine Population, die nur aus Bäumchen besteht, die gerade Schäfte haben und bei denen kein Verlust der Terminalknospe zu beobachten ist, muß nicht unbedingt höhere Anstiegskoeffizienten (b) der linearen Regression, die das Verhältnis $h/d_{10\text{ cm}}$ wiedergibt, haben, als eine Population, die gerade wie krumme und beschädigte Bäumchen enthält (Tab. 14). Die Regressionskoeffizienten können bis zu 10 % geringer sein und deuten an, daß geneigte oder krumme Bäumchen, bei denen die Höhe von der Bodenoberfläche zur Sproßspitze geringer ist als die Länge des Sprosses von der Spitze zur Sproßbasis, schlanker sind als die Bäumchen, die gerade aufwuchsen.

Forstamt	Fläche Nr.	Vergleichs- größen	Alle Pflanzen	nicht beschädigte Pflanzen
Burglengenfeld	1	a	5,6	3,4
		b	8,8	8,9
		r	.94	.95
	2	a	3,6	3,3
		b	10,7	10,5
		r	.97	.97
Pegnitz	3	a	6,9	9,3
		b	5,7	5,6
		r	.98	.96
	4	a	4,3	4,4
		b	7,1	6,4
		r	.97	.94
Waldsassen	1	a	12,1	3,1
		b	9,3	8,7
		r	.95	.97

a, b = Koeffizienten der linearen Regressionen

r = Korrelationskoeffizienten

Tab. 14 - Kenngrößen der linearen Regressionen zwischen Höhe und Durchmesser in 10 cm Höhe auf vier ausgewählten Verjüngungsflächen für alle und nur für die nicht beschädigten und nicht geeigneten Jungkiefern.

4.5 Kriterien zur Beurteilung der Entwicklungstendenz und Qualität von jungen Kiefern

4.51 Der jährliche Höhenzuwachs

Die Entwicklung einer Verjüngung kann anhand der jährlichen Höhenzuwächse der Bäumchen sehr genau nachvollzogen werden. Weiterhin kann eine Analyse der letzten Jahreshöhenzuwächse die Entwicklungstendenz aufzeigen. Zu diesem Zweck wurden an dem höchsten Bäumchen jedes Probekreises die Höhenzuwächse gemessen (vgl. Abschnitt 2.323 Analyse der größten Kiefer im Kreis).

Um eine Vorstellung von der jährlichen Zuwachsleistung auf den Verjüngungsflächen zu bekommen, wurde der mittlere Höhenzuwachs der Bäumchen in den Jahren 1975, 1976 und 1977 errechnet. In Tab. 15 sind diese Werte mit einigen statistischen Parametern wiedergegeben. Für ihre Kalkulation wurden nur unbeschädigte Bäumchen herangezogen, die in den drei genannten Jahren Zuwachs leisteten. Die Periode der 3 letzten Jahre wurde ausgewählt, um erstens möglichst kurzfristige Schwankungen der Zuwächse auszugleichen und um zweitens in den Mittelwert nicht Jahreszuwächse einzubeziehen, die unter anderen ökologischen Verhältnissen geleistet wurden, die im Moment nicht mehr gegeben sind. Dies ist der Fall z.B. bei früheren Auflichtungen. Wenn die Auflichtung vor vier Jahren erfolgte, können nur die Zuwächse der drei letzten Jahre gemittelt werden, da sonst der Mittelwert nicht der Ausdruck der Wuchsleistung unter den jetzt gegebenen ökologischen Bedingungen ist.

Der mittlere Jahreshöhenzuwachs darf nicht absolut betrachtet werden, da ein Zuwachs von z.B. 20 cm bei kleinen Pflanzen mehr bedeutet als bei größeren. Deshalb sind in Tab. 15 auch die mittleren Höhen der untersuchten Bäumchen eingetragen. Diese schwankten zwischen 25 und 601 cm. Auf 17 Flächen waren sie kleiner als 2 m, auf 7 Flächen sogar kleiner als 1 m. Der mittlere jährliche Höhenzuwachs war auf 18 Flächen kleiner als 20 cm, auf 13 Flächen lag er zwischen 10-20 cm.

Forstamt	Fläche Nr.	Höhen- mittel cm	Jahreshöhenzuwachs			Anzahl der Bäumchen
			Mittelwert cm	Standardfehler des Mittels %	Variations- koeffizient %	
Bamberg	1	150	13,6	10	38	14
	2	142	12,3	10	53	29
	3	180	12,3	8	46	34
Pegnitz	1	57	6,4	7	55	58
	2	101	15,7	15	74	25
	3	85	16,9	9	49	27
	4	67	6,5	13	65	24
	5	68	14,4	6	34	28
	6	25	3,9	14	64	20
Selb	1	237	29,9	10	46	23
	2	151	16,1	20	78	16
	3	601	30,2	12	56	22
	4	248	24,0	18	69	15
Burglengenfeld	1	91	7,1	6	39	37
	2	80	5,8	12	66	31
Mitterteich	1	193	16,5	10	52	26
	2	129	14,9	10	61	36
Waldsassen	1	181	10,1	8	51	39
	2	221	12,9	13	65	24
Pfreimd	1	132	12,9	8	47	37
Amberg	1	261	25,6	15	72	22
Erlangen	1	136	14,8	7	44	36

Tab. 15 - Mittlerer jährliche Höhenzuwachs der jungen Kiefern auf den Verjüngungsflächen, für die Jahre 1975, 76 und 77.

Die Streuung der Höhenzuwächse kann auf einigen Flächen sehr groß sein, wie die Variationskoeffizienten andeuten. Diese lagen zwar alle unter 80 %, aber nur auf 8 Flächen waren sie kleiner als 50 %. Die prozentualen Standardfehler der Mittelwerte ergaben teilweise recht geringe Werte - 10 und weniger Prozent auf 13 Flächen, zwischen 10 und 20 % auf den restlichen 9 Flächen.

Zur besseren Verdeutlichung der Zuwachsentwicklung soll die Verjüngung von 4 Flächen verwendet werden. Hierfür wurden der mittlere jährliche Höhenzuwachs sowie die Standardabweichungen und -fehler der Mittelwerte für mehrere Jahre errechnet und in Abb. 19 dargestellt.

Die 4 Einzeldarstellungen sollen den Verlauf des Höhenzuwachses für die folgenden Verjüngungssituationen skizzieren:

Situation 1: Naturverjüngung ohne verjüngungsfördernde Maßnahmen.

Situation 2: Freigestellter Jungbestand.

Situation 3: Auswirkungen von Eingriffen in den Schirmbestand auf eine bereits entwickelte Verjüngung.

Situation 4: Naturverjüngung im Pegnitzer-Verfahren.

Zu Situation 1: Naturverjüngung ohne verjüngungsfördernde Maßnahmen.

Abb. 19a zeigt den Verlauf des Höhenzuwachses auf einer Naturverjüngungsfläche ohne wesentliche Eingriffe im Altholz und verjüngungsfördernde Maßnahmen auf dem Boden (Fläche Burglengenfeld 1). Das durchschnittliche Alter der analysierten Pflanzen betrug im Jahr 1978 17,7 Jahre. Die Streuung der Zuwächse war ziemlich homogen von einem Jahr zum anderen, was auf relativ konstante Wuchsbedingungen schließen läßt. Die Zunahme des Zuwachses in den letzten Jahren und die gleichzeitige Erhöhung der Streuung deuten auf den Anfang einer Differenzierung der Pflanzen.

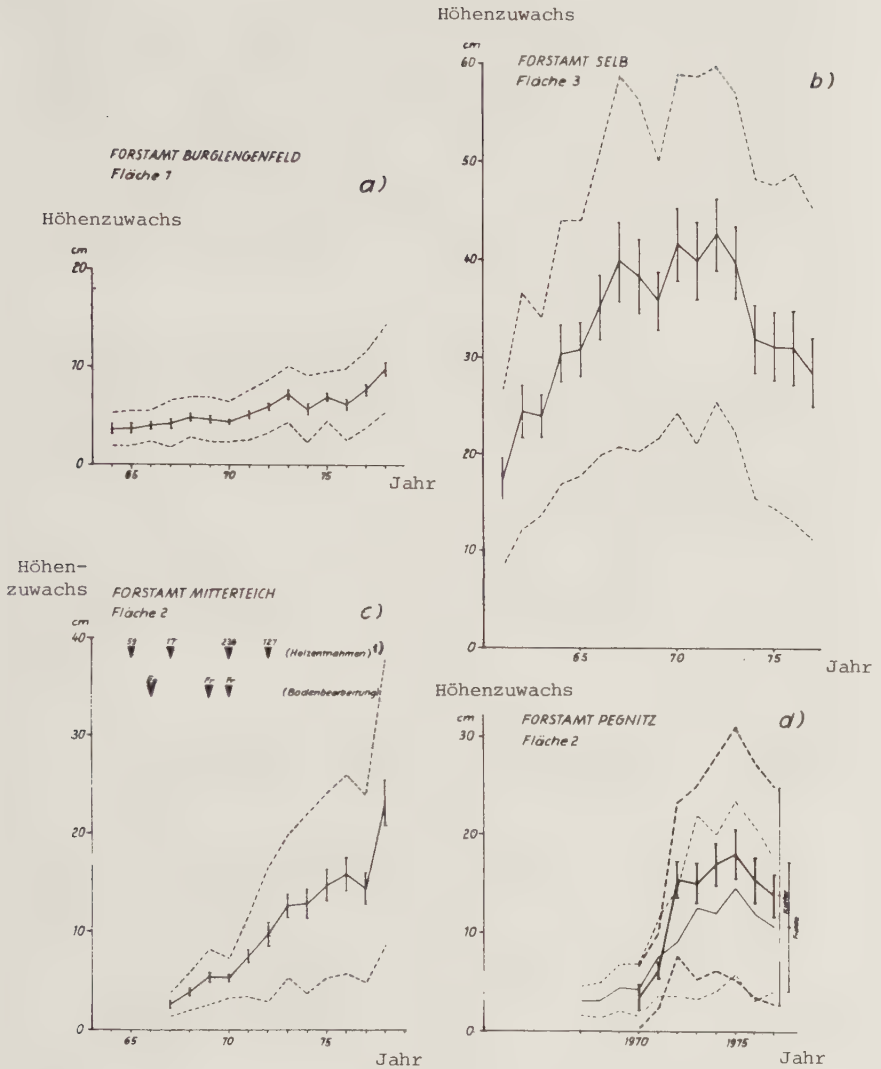


Abb. 19 - Mittlerer jährlicher Höhenzuwachs auf vier Verjüngungsflächen. Mittelwerte (—), Standardabweichung, gleich 68 % der Zuwächse (---) und Standardfehler der Mittelwerte (senkrechte Linien).

¹⁾ Angabe der Holzentnahme in Vfm.

Zu Situation_2: Freigestellter Jungbestand

Der große Gegensatz zur erstgenannten Fläche ist die Verjüngung auf Fläche Selb 3 (Abb. 19b). Die Bäume dieser Fläche hatten im Jahr 1977 ein Alter von 20,7 Jahren. Die Behandlungen im Altbestand waren auf die Förderung der Naturverjüngung ausgerichtet. Die Zuwächse der Jungkiefern streuten stark, was auf den Konkurrenzkampf untereinander hinweist. Der Verlauf der Höhenzuwachskurve läßt ein Maximum des Höhenzuwachses in den Jahren 1967 bis 1972 bei einem Alter zwischen 10 und 15 Jahren erkennen.

Zu Situation 3: Auswirkungen von Eingriffen in den Schirmbestand auf eine bereits entwickelte Verjüngung.

In Abb. 19c wird der Einfluß von Bestandesbehandlungen am Beispiel der Fläche Mitterteich 2 deutlich. Auf ihr fand eine Teilräumung des Schirmbestands statt. Das Durchschnittsalter der Bäumchen war hier im Jahr 1978 11,7 Jahre. Der Zuwachs der ersten Jahre kann ungefähr mit dem der Bäumchen von Fläche Burglengelfeld 1 (Abb. 19a) verglichen werden. Im Jahr 1970 wurde stark in den Schirmbestand eingegriffen und damit erstens ein deutlicher Anstieg des Zuwachses und zweitens eine Vergrößerung der Streuung der Mittelwerte erreicht. Der Eingriff war im wesentlichen ein Saumhieb, der auf der Fläche zu einer breiten Streuung der Lichtverhältnisse führte. Von der vollkommenen Freistellung bis hin zum unberührten Schirm hatten die Bäumchen nun verschiedene Wuchsbedingungen, die die starke Differenzierung der Wuchsleistung erklären.

Der Einfluß der Überschirmung auf den Zuwachs soll später noch in Abschnitt 5 näher erläutert werden.

Zu Situation_4: Naturverjüngung im Pegnitzer-Verfahren

Abschließend sei noch am Beispiel der Fläche Pegnitz 2 eine nach dem Pegnitzer-Verfahren eingeleitete Verjüngung erläutert (Abb. 19d). Ihr durchschnittliches Alter betrug im Jahr 1977 7,7 Jahre. Da bei diesem Verfahren die Bestände vor dem

Anflug stark aufgelichtet werden, hat der Jungwuchs grundsätzlich gute Entwicklungsmöglichkeiten. Nach einer kurzen Anlaufphase ist der Höhenzuwachs ziemlich konstant. Da aber der Schirmbestand, wie in unserem Beispiel, noch mit einer Grundfläche von etwa $15 \text{ m}^2/\text{ha}$ belassen wird, können die Jungpflanzen nicht ihre wirkliche Wuchsleistung erreichen. Die starke Streuung deutet aber auch auf die unterschiedlichen Entwicklungsbedingungen hin, die durch den hohen Anteil an Fichten in der Verjüngung (vgl. Tab. 10) bedingt sind.

Anhand von Messungen der jährlichen Höhenzuwächse bei den Fichten können die Zuwachsleistungen der beiden Baumarten miteinander verglichen werden (Abb. 19d). Danach ist der jährliche Höhenzuwachs und die absolute Variationsbreite bei den Fichten geringer. In der Jugend hatte die Fichte - vermutlich unter dem dichteren Schirm - bessere Zuwachsleistungen als die Kiefer. Die Auflichtung bewirkte dann zwar eine Erhöhung der Zuwächse bei der Fichte, doch waren diese nicht so hoch wie die, die bei den Kiefern gemessen werden konnten.

In dieser Untersuchung wurden die Höhenzuwächse der Kiefern nicht ausschließlich an den herrschenden Stämmen in der Verjüngung gemessen, deshalb können die Mittelwerte nur bedingt für Vergleiche mit Werten aus anderen Untersuchungen verwendet werden. Trotzdem, die Jahrestrieblängen, die EDER (1975) an herrschenden Kiefern aus Kunstverjüngungen gemessen hat (35-70 cm auf Sandböden, 30-45 cm auf Lehm-Pseudogley), sind nicht so viel höher, verglichen mit den Jahrestrieblängen in den Naturverjüngungen der Flächen Selb 3, Selb 1 oder Amberg 1.

4.52 Die Schaftform

Besser als der h/d-Quotient oder die h/d-Korrelation drückt der Schlankheitsquotient die Form des Schaftes eines jungen Baumes aus (KUNZ, 1953; GRILC, 1971). Dieser Quotient (SQ_t) wird definiert

$$SQ_t = \frac{h}{d_{h/2}}.$$

Es bedeutet

h = Höhe des Bäumchens

d_{h/2} = Durchmesser des Stammes in halber Höhe.

Werden die Schlankheitsquotienten zwei gleich hoher Bäumchen verglichen, so hat der dünnere Baum einen höheren Schlankheitsquotienten als der dickere.

Für die größte Kiefer in jedem Probekreis wurden die Schlankheitsquotienten errechnet und sodann - um Vergleiche zwischen den Schaftformen der Bäumchen auf den untersuchten Verjüngungsflächen zu erlauben - sind für jeden Jungwuchs die mittleren Schlankheitsquotienten, die Variationskoeffizienten und die Standardfehler der Mittelwerte in Tab. 16 zusammengestellt worden. Danach zeigt sich nun, daß die jungen Kiefern überwiegend sehr schlank waren. Die Mittelwerte streuten zwar zwischen 84 und 174, auf 16 Flächen lagen sie aber im Bereich von 100 bis 140. Der größte Schlankheitsquotient wurde für Fläche Selb 3 errechnet. Dort stehen auch die höchsten Bäume. Die zwei niedrigsten Mittelwerte wiesen die Verjüngungen der Flächen Pegnitz 3 und 6 auf. Im Forstamt Pegnitz ließen sich generell niedrigere Schlankheitsquotienten feststellen als auf den anderen untersuchten Flächen. Die Bäumchen haben also auf diesen Flächen anscheinend ein besseres Durchmesserwachstum, was - siehe auch S. 75 - womöglich durch die Behandlung des Bodens bewirkt wird.

Forstamt	Fläche Nr.	Schlankheitsquotient		
		Mittelwert	Variations- koeffizient %	Standardfehler des Mittels %
Bamberg	1	117	13	3,4
	2	137	17	3,2
	3	140	23	4,0
Pegnitz	1	106	19	2,5
	2	114	21	4,2
	3	89	19	3,7
	4	101	17	3,7
	5	104	13	2,4
	6	84	19	3,8
Selb	1	138	17	3,5
	2	113	31	7,6
	3	174	18	3,9
	4	116	16	3,9
Burglengenfeld	1	144	19	3,1
	2	134	32	5,5
Mitterteich	1	147	25	5,0
	2	119	12	2,0
Waldsassen	1	141	19	3,1
	2	134	22	4,6
Pfreimd	1	127	16	2,6
Amberg	1	122	31	6,6
Erlangen	1	120	16	2,7

Tab. 16 - Schlankheitsquotienten: Mittelwerte, Variationskoeffizienten und Standardfehler der Mittelwerte der Kiefern auf den untersuchten Verjüngungsflächen

Die Streuung der Schlankheitsquotienten ist in den Jungwüchsen nicht sehr groß, denn die Variationskoeffizienten liegen stets unter 31 %. Entsprechend niedrig zeigen sich auch die Standardfehler der Mittelwerte auf allen Flächen immer unter 10 %. Dies spricht für jeweils sehr homogenes Material, da die Zahl der Stichproben nur einmal 40 überschritt.

Nach MAYER (1961) haben gut geformte Kiefern einen Schlankheitsquotienten zwischen 100 und 110. Schlankheitsquotienten unter 90 deuten in der Regel auf schlechte Kiefern, dagegen sind Bäumchen mit Schlankheitsquotienten über 120 stark durch Schneebruch gefährdet. Ein Vergleich der Mittelwerte aus unserer Untersuchung mit denen, die KUNZ (1953) auch für Kiefern in der Schweiz errechnet hat (Tab. 17), zeigt eine gute Übereinstimmung.

Soziale Stellung	Schlankheitsquotient	
	minimal	maximal
Freistehende oder Randbäume	83	115
Oberschicht	80	153
Mittelschicht	85	165
Unterschicht	103	213

Tab. 17 - Schlankheitsquotienten in schweizer Kieferndickungen (nach KUNZ, 1953).

In Abschnitt 5 wird näher auf die Zusammenhänge zwischen Schlankheitsquotienten und Überschirmung eingegangen.

4.53 Die Anzahl, Stärke und Länge der Äste

4.531 Die Astzahl

Entscheidend für die Qualität eines Stammes ist vor allem die Zahl und Stärke seiner Äste. Um Vergleiche zwischen Bäumen oder Dickungen mit unterschiedlichen Höhen zu ermöglichen, hat VAN MIEGROET (1956) die "Astzahl" als Einzelwert pro Baum oder auf eine Population bezogene Mittelwerte errechnet.

Die "Astzahl" drückt die Anzahl der Äste pro Meter Schaftlänge aus. Sie kann sich entweder nur auf die lebenden Äste, nur auf die abgestorbenen oder auf die Gesamtzahl der Äste beziehen. Bei den eigenen Untersuchungen wurde die Astzahl der lebenden und die der toten Äste benutzt.

Das Verhältnis zwischen der Astzahl der lebenden und der toten Äste kann Aufschluß über die Vitalität der Bäume geben und bei älteren Bäumen mit vergleichbarem Wachstum die Schaftreinigung charakterisieren. In Tab. 18 und 19 sind die Mittelwerte für die Astzahl der lebenden und die der toten Äste in den untersuchten Verjüngungen wiedergegeben.

Die Kiefern von 17 der 22 Untersuchungsflächen hatten im Durchschnitt Astzahlen zwischen 12 und 16 für lebende Äste. Stärker davon abweichen aber die Verjüngungen der Flächen Pegnitz 3 mit rd. 22 durch einen sehr hohen und Selb 3 mit 6 einem sehr niedrigen Wert. Die Astzahl der toten Äste für diese beiden Flächen ist rd. 1 und fast 8 (Tab. 19).

Anhand dieser Astzahlen und der in Tab. 15 angegebenen Mittelhöhen - 0,85 für Pegnitz 3 und 6,01 m für Selb 3 - lassen sich die unterschiedlichen Entwicklungsphasen der Kiefern naturverjüngungen auf den verschiedenen Flächen skizzieren:

Phase 1: Früher Entwicklungszustand, geringe Konkurrenz.

Auf Fläche Pegnitz 3 sind die Bäumchen noch jung und klein, der große Unterschied zwischen den Astzahlen lebender und toter Äste zeigt, daß kein Konkurrenzkampf auf dieser Fläche stattfindet. Weiter weist die hohe Astzahl lebender Äste auf viele Äste in jedem Quirl.

Phase 2: Später Entwicklungszustand, starke Konkurrenz.

Auf der Fläche Selb 3 dagegen sind die Bäume älter und höher. Die größere Astzahl toter Äste zeigt - verglichen mit der Astzahl der lebenden Äste - einen heftigen Konkurrenzkampf an. Eine große Astzahl toter Äste kann weiterhin eine schlechte Astreinigung bedeuten.

Forstamt	Fläche Nr.	Astzahl (lebenden Äste)		
		Mittelwert St./lfm	Variations- koeffizient %	Standardfehler des Mittels %
Bamberg	1	15,3	28	7,3
	2	14,8	36	6,6
	3	16,3	38	6,5
Pegnitz	1	16,4 ⁺	48	6,2
	2	15,4	48	9,7
	3	22,2	38	7,4
	4	15,2	57	11,1
	5	18,1	32	5,9
	6	11,5	75	15,3
Selb	1	12,0	20	4,2
	2	16,0	57	14,2
	3	5,8	32	6,9
	4	10,6	40	9,7
Burglengenfeld	1	15,6	29	4,7
	2	12,5	69	11,7
Mitterteich	1	11,6	39	7,6
	2	16,2	20	3,3
Waldsassen	1	14,4	44	7,0
	2	14,4	54	10,7
Pfreimd	1	16,2	33	5,4
Amberg	1	12,2	63	13,3
Erlangen	1	13,5	37	6,1

⁺) Lebende und tote Äste

Tab. 18 - Astzahl der lebenden Äste: Mittelwert, Variationskoeffizienten und Standardfehler der Mittelwerte der untersuchten Jungwüchse

Forstamt	Fläche Nr.	Astzahl (tote Äste)		
		Mittelwert St./lfm	Variations- koeffizient %	Standardfehler des Mittels %
Bamberg	1	4,5	45	11,7
	2	6,3	45	8,4
	3	5,6	57	9,7
Pegnitz	1	-	-	-
	2	1,9	154	30,9
	3	1,3	134	25,7
	4	2,2	93	18,2
	5	2,4	80	14,9
	6	0,4	233	47,5
Selb	1	6,0	60	12,6
	2	5,2	69	17,3
	3	7,8	35	7,5
	4	6,2	57	13,8
Burglengenfeld	1	2,0	121	19,9
	2	3,6	79	13,4
Mitterteich	1	7,8	56	11,0
	2	3,5	75	12,5
Waldsassen	1	7,4	37	5,9
	2	6,4	50	10,0
Pfreimd	1	3,6	64	10,6
Amberg	1	5,8	75	16,0
Erlangen	1	5,4	43	7,1

Tab. 19 - Astzahl der toten Äste: Mittelwerte, Variationskoeffizienten und Standardfehler der Mittelwerte der untersuchten Jungwüchse

Die Streuung der Astzahl der lebenden Äste auf den Flächen ist nicht sehr groß. Der höchste berechnete Variationskoeffizient betrug 75 %; nur 6 Flächen hatten einen Variationskoeffizienten über 50 %. Desgleichen sind die Standardfehler der Mittelwerte nicht sehr groß; nur auf 6 Flächen lagen sie über 10 %. Bei der Astzahl der toten Äste dagegen war die Streuung größer. 14 Flächen haben Variationskoeffizienten, die größer als 50 % sind, auf 4 Flächen sind sie sogar höher als 100 %. Der Standardfehler des Mittels ist allgemein sehr hoch, auf 3 Flächen liegt er über der 20-%-Schwelle.

4.532 Der Ästigkeitsquotient

Ein weiteres Merkmal für die Beurteilung der Schaftqualität von Bäumchen ist das Verhältnis zwischen den Astquerflächen und dem Baumschaft.

Dieses Verhältnis hat VAN MIEGROET (1956) Ästigkeitsquotient genannt und definierte es als den Anteil der summierten Astquerflächen an der Schaftmantelfläche. KRUTSCH und WECK (1935) beschrieben den Ästigkeitsgrad eines Bäumchens mit verschiedenen Kriterien, wie Anzahl und mittlerer Durchmesser der Äste in halber Baumhöhe und das Verhältnis zwischen dem Durchmesser des stärksten Astes und des Baumes in halber Höhe.

Die Messung aller Astdurchmesser der analysierten Kiefern war in unseren Untersuchungen wegen des zu großen Zeitaufwands nicht durchzuführen. Aus diesem Grund wurde nur der Durchmesser des stärksten Astes von jedem Bäumchen gemessen und in Anlehnung an die Überlegungen von KRUTZSCH und WECK ein vereinfachter Ästigkeitsquotient formuliert:

$$\text{ÄQt} = \frac{d_a}{d_{h/2}}$$

Es bedeutet

d_a = Durchmesser des stärksten Astes an der Basis,
 $d_{h/2}$ = Durchmesser des Baumes in halber Höhe.

Der so formulierte Ästigkeitsquotient ermöglicht die Beurteilung des Astdurchmessers im Vergleich mit dem Stammdurchmesser in einer Phase des Baumwachstums, in der die Durchmesser der Äste noch keine qualitätsmindernden Stärken erreicht haben. Ab einem Astdurchmesser von 2 cm ist dieser allein ein besseres Kriterium zur Beurteilung der Schaftqualität in bezug auf die Ästigkeit. In Tab. 20 sind die mittleren Ästigkeitsquotienten und mittleren Durchmesser des stärksten Astes für die untersuchten Verjüngungsflächen aufgelistet.

Nur auf 2 Flächen war der mittlere Durchmesser der stärksten Äste pro Baum höher als 10 mm, aber mit 11 und 13 mm noch im Feinastbereich (SCHÖPF, 1954). Nach dem Ästigkeitsquotienten heben sich die Jungwüchse auf Fläche Selb 3 und Pegnitz 4 hervor, die mit 0,36 bzw. 0,67 die unteren und oberen Grenzwerte aufwiesen. Auf 13 Flächen lag der mittlere Ästigkeitsquotient des Jungwuchses zwischen 0,5 und 0,6, auf 5 Flächen über 0,6. In den untersuchten Jungwüchsen war die Streuung der Ästigkeitsquotienten nur auf einigen Flächen hoch. Bei drei Flächen wurden Variationskoeffizienten zwischen 50 und 70 % gefunden, auf allen anderen Flächen niedriger. Die Standardfehler der Mittelwerte waren gering, der größte Fehler lag bei 14 %.

Zur Wertung der Ergebnisse fehlen ausführliche Untersuchungen. KRUTZSCH und WECK (1935) haben für verschiedene Kieferndickungen einen Ästigkeitsquotienten wie hier beschrieben berechnet und bei beschirmten Naturverjüngungen einen mittleren Ästigkeitsquotienten von 0,34 gefunden. Dagegen stieg in freigestellten Jungwüchsen aus Naturverjüngung der Ästigkeitsquotient auf 0,64. Sie schließen daraus, daß Kiefern unter Schirm nicht so ästig sind wie auf der Freifläche. Diese Tendenz konnte in unseren Untersuchungen nicht festgestellt werden. Für die unterschiedlichen Ästigkeitsquotienten sind außer Überschirmung noch andere Faktoren, wie z.B. Pflanzendichte oder Bodenfrische, die das Durchmesserwachstum beeinflussen, ausschlaggebend.

Forstamt	Fläche Nr.	Höhen- mittel cm	Mittlerer Durchmesser des stärksten Astes mm	Ästigkeitsquotient		
				Mittelwert	Variations- koeffizient %	Standardfehler des Mittels %
Bamberg	1	150	7,0	0,56	17	4,6
	2	142	5,9	0,57	22	4,1
	3	180	8,4	0,65	71	12,1
Pegnitz	1	57	3,3	0,59	39	5,1
	2	101	4,4	0,51	28	5,5
	3	85	5,8	0,66	31	5,9
	4	67	4,8	0,67	23	4,9
	5	68	4,0	0,62	15	2,8
	6	25	1,5	0,45	67	13,7
Selb	1	237	8,6	0,49	19	3,9
	2	151	7,4	0,63	41	10,2
	3	601	13,0	0,36	21	4,5
	4	248	11,0	0,54	44	11,0
Burglengenfeld	1	91	3,7	0,60	26	4,3
	2	80	2,9	0,53	53	9,0
Mitterteich	1	193	6,3	0,52	41	8,0
	2	129	6,1	0,60	41	6,8
Waldsassen	1	181	6,1	0,50	31	5,0
	2	221	7,5	0,53	29	5,9
Pfreimd	1	132	5,5	0,58	22	3,6
Amberg	1	261	9,0	0,48	33	7,1
Erlangen	1	136	5,9	0,51	20	3,3

Tab. 20 - Ästigkeitsquotienten: Mittelwerte, Variationskoeffiziente und Standardfehler der Mittelwerte und Mittelwerte des Durchmessers des stärksten Astes von den untersuchten Kiefern.

4.533 Die Kronenausprägung - dargestellt mit Hilfe des Astlängenquotienten

Die Kronenform gibt Hinweise auf die soziologische Stellung eines Baumindividuums, seine Vitalität und Entwicklungsmöglichkeit in der Population. Sie kann mit dem Astlängenquotienten charakterisiert werden.

Setzt man die Kronenbreite ins Verhältnis zur Baumhöhe, so erhält man eine Vergleichszahl über die Kronengröße für Bäume unterschiedlicher Höhen. VAN MIEGROET hat 1956 seinen Messungen an Eschen den größten Kronendurchmesser zugrunde gelegt. In unseren Untersuchungen mußten wir aus arbeitstechnischen Gründen wiederum auf den Meßwert des längsten Astes zurückgreifen und ihn ins Verhältnis zur Baumhöhe setzen. Dieser Wert soll in der Folge Astlängenquotient heißen. Seine Größe wird sowohl durch Überschildung wie durch Konkurrenz der Jungkiefen untereinander beeinflusst. In Tab. 21 sind die mittleren Astlängenquotienten für Kiefen der untersuchten Flächen aufgelistet.

Sie variieren zwischen 0,19 und 0,46 und liegen bei den Verjüngungen von 15 Flächen sogar nur in dem engen Bereich zwischen 0,25 und 0,35. Praktisch bedeutet dies, daß der längste Ast der jungen Kiefen eine Ausdehnung erreicht, die in der Regel $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ der Baumhöhe entspricht. Der niedrigste Astlängenquotient fand sich auf Fläche Selb 3. Dort standen zugleich die höchsten Bäume. Er wurde dort also wahrscheinlich durch die Konkurrenz zwischen den Jungkiefen reduziert, die keine große horizontale Ausdehnung der Äste erlaubt. Das gleiche ist auch auf Fläche Amberg 1 zu beobachten. Bei Fläche Pegnitz 6 läßt sich dagegen - trotz des dort ebenfalls gefundenen niedrigen Astlängenquotienten - kaum von Konkurrenz zu sprechen, da die Bäumchen dort noch sehr klein sind (Mittelhöhe ca. 25 cm). Der mittlere Astlängenquotient wird auf dieser Fläche nämlich durch zahlreiche Bäumchen ohne Äste stark herabgesetzt. Würden nur die Bäumchen mit Ästen in den Mittelwert eingehen, ergäbe sich ein Wert von 0,34, der mehr denen der anderen gleicht.

Forstamt	Fläche Nr.	Höhenmittel (cm)	Astlängenquotient		
			Mittelwert	Variations- koeffizient %	Standardfehler des Mittels %
Bamberg	1	150	0,39	27	7,0
	2	142	0,33	31	5,8
	3	180	0,36	32	5,5
Pegnitz	1	57	0,30	55	7,0
	2	101	0,28	39	7,8
	3	85	0,46	23	4,4
	4	67	0,28	59	11,7
	5	68	0,37	20	3,7
	6	25	0,25	77	15,8
Selb	1	237	0,35	84	17,5
	2	151	0,33	42	10,6
	3	601	0,19	21	4,5
	4	248	0,30	45	10,9
Burglengenfeld	1	91	0,32	24	4,0
	2	80	0,28	62	10,6
Mitterteich	1	193	0,31	55	10,9
	2	129	0,34	27	4,4
Waldsassen	1	181	0,32	36	5,8
	2	221	0,30	43	8,7
Pfreimd	1	132	0,35	23	3,8
Amberg	1	261	0,27	33	7,1
Erlangen	1	136	0,30	25	4,2

Tab. 21 - Astlängenquotienten: Mittelwerte, Variationskoeffizienten und Standardfehler der Mittelwerte auf den untersuchten Naturverjüngungsflächen

Der größte Astlängenquotient fand sich auf der Fläche Pegnitz 3. Hier weisen die Bäumchen also besonders breite Kronen auf. Ihre Form ist vermutlich auf die Wirkung von Düngungen zurückzuführen, die bei unterdrücktem Höhenwachstum als Folge mittelstarker Altholzüberschirmung eine solche Breitenausdehnung verursacht hat. Eine klare Definition der Ursachen für die Unterschiede bei den Astlängenquotienten ist sehr schwer. Ähnliches stellt auch KUNZ (1953) beim Versuch fest, die Variation des Verhältnisses Höhentrieb zu Seitentrieb bei Kiefern zu deuten.

Innerhalb der Jungwüchse auf den einzelnen Untersuchungsflächen war die Streuung der Astlängenquotienten teilweise sehr hoch. Auf 6 Flächen überstiegen die Variationskoeffizienten Werte von 50 %, doch auf keiner Fläche lagen sie über 100 %. Ebenso waren die Standardfehler der Mittelwerte relativ hoch. Auf 7 Flächen lagen sie über 10 %, auf keiner Fläche jedoch größer als 20 %.

4.54 Die Krümmung der Schäfte

Die Krümmung der Schäfte ist ein entscheidendes Kriterium zur Beurteilung der künftigen Wertleistung von Beständen und deshalb für die Einschätzung der Brauchbarkeit von Kiefern naturverjüngungen wichtig. Zugleich erlaubt sie u.U. auch Rückschlüsse auf die bisherige Entwicklung der Verjüngungen.

Die Erfassung der Qualität von Stämmen hat sich fast immer mit dem Problem herumgeschlagen, die mit starkem subjektivem Fehler belastete Darstellung bestimmter Merkmale, wie Krümmung, Knicke, Bruchstellen, Schäden an der Rinde, zu objektivieren und zu quantifizieren (VAN MIEGROET, 1956; GRILC, 1971; SCHÖNENBERGER, 1978). Mit viel Übung sind solche subjektiven Ansprachen innerhalb eines Aufnahmeprogramms zwar vergleichbar, doch sind keine Vergleiche mit Ergebnissen von anderen Untersuchungen möglich.

Um nun eine möglichst objektive Grundlage für die Beurteilung der Schäfte zu schaffen, wurde in dieser Arbeit ein Krümmungsindex (K.I.) entwickelt.

Der Krümmungsindex ist definiert durch den Quotienten aus Krümmung des Stammes geteilt durch den Durchmesser des Stammes in halber Höhe, also

$$K.I. = \frac{b}{d_{h/2}}$$

b = Abweichung des Stammes von einer Geraden, die Stammbasis und Spitze verbindet.

Die Krümmung eines Stammes wurde nicht mit der Baumhöhe in Beziehung gebracht, wie es KNIGGE und SCHULZ (1966) für Stammholz empfehlen, weil anzunehmen ist, daß bei jungen Pflanzen die Krümmung des Stammes durch den radialen Zuwachs wieder ausgeglichen werden kann. Deshalb sind bei der Betrachtung der mittleren Krümmungsindizes in Tab. 23 auch die Mittelwerte für $d_{h/2}$ zu berücksichtigen.

Um die Interpretation der Krümmungsindizes zu erleichtern, sind in Tab. 22 einige Beispiele gegeben.

Krümmung b (cm)	$d_{h/2}$ (cm)	Krümmungsindex
1,0	1,0	1,0
5,0	1,0	5,0
10,0	1,0	10,0
10,0	5,0	2,0
10,0	10,0	1,0

Tab. 22 - Krümmungsindizes für gegebene Krümmungen und $d_{h/2}$.

Ist die Abweichung des Stammes von der Geraden gleich dem Durchmesser in halber Höhe, so hat der Krümmungsindex einen Wert gleich 1, ist sie doppelt so groß wie der Durchmesser, ist der Krümmungsindex gleich 2 usw. Je höher der Krümmungsindex, desto schlechter ist der Schaft. Bei stärkeren Stämmen sind für gleiche

Qualitätsansprüche die annehmbaren Krümmungsindizes geringer als bei den schwachen, da es bei fortschreitendem Durchmesserwachstum immer schwieriger wird, die Krümmung des Schaftes auszugleichen. In anderen Worten, bei zwei Stämmen unterschiedlicher Stärke mit gleichem Krümmungsindex ist bei dem schwächeren der momentane Wertverlust durch die Krümmung viel geringer als bei dem starken Stamm. Hierin liegt auch ein wesentliches Handicap hinsichtlich der Aussagekraft dieses Krümmungsindexes.

Nach Tab. 23 haben die Verjüngungen auf mehr als der Hälfte der Flächen einen mittleren Krümmungsindex unter 5, d.h. die Abweichung des Schaftes von der Geraden ist geringer als das Fünffache des Durchmessers in halber Höhe. Der mittlere Durchmesser in halber Höhe aber ist, bis auf den Flächen Selb 3 und 4, geringer als 2 cm. Man kann deshalb annehmen, daß sich bei der weiteren Entwicklung der Bäumchen diese nur geringen Krümmungen wieder auswachsen.

Die extremen Krümmungsindizes von 10,6 und 10,7 auf den Flächen in Burglengenfeld müssen näher betrachtet werden. Sie deuten auf sehr schlecht geformte Pflanzen, die aber noch sehr klein sind. Die mittleren Durchmesser in halber Höhe von 0,6 und 0,5 cm zeigen, daß für eine Korrektur der Krümmung noch viel Spielraum offen ist, daß nämlich durch waldbauliche Maßnahmen womöglich das Wachstum angeregt werden kann und somit eine Stärkung der Stämmchen möglich ist.

Bemerkenswert ist die große Streuung der Krümmungsindizes auf den Verjüngungsflächen, was durch die hohen Variationskoeffizienten in Tab. 23 zum Ausdruck kommt. Dies läßt auf sehr große Unterschiede in der Schaftqualität innerhalb eines Jungwuchses schließen.

Der Versuch, einen Zusammenhang zwischen der Krümmung und der Schirmstärke zu finden, hat keine brauchbaren Ergebnisse geliefert.

Forstamt	Fläche Nr.	Mittelwert des Durchmessers in halber Höhe cm	Krümmungsindex		
			Mittelwert	Standardfehler des Mittels %	Variations- koeffizient %
Bamberg	1	1,3	3,6	28,7	111
	2	1,0	4,5	18,8	102
	3	1,3	5,1	16,2	95
Pegnitz	1	0,5	7,2	9,9	76
	2	0,8	4,4	19,2	96
	3	1,0	3,3	18,3	95
	4	0,7	9,0	26,0	122
	5	0,6	3,2	13,7	74
	6	0,3	2,3	30,4	149
Selb	1	1,8	1,9	25,5	122
	2	1,2	4,7	33,0	132
	3	3,6	3,4	36,7	172
	4	2,2	4,6	20,4	82
Burglengenfeld	1	0,6	10,7	10,5	64
	2	0,5	10,6	18,2	108
Mitterteich	1	1,3	8,0	21,5	109
	2	1,1	4,7	16,4	99
Waldsassen	1	1,2	8,4	19,3	120
	2	1,6	6,2	23,4	115
Pfreimd	1	1,0	5,4	11,0	67
Amberg	1	2,0	3,8	23,5	110
Erlangen	1	1,1	3,5	14,6	88

Tab. 23 - Krümmungsindex: Mittelwerte, Standardfehler der Mittel, Variationskoeffiziente und mittlerer Durchmesser des Stammes in halber Höhe der untersuchten Jungwüchse.

4.55 Die Ausformung des Wurzelsystems

Wichtige Hinweise über das Verhalten der Kiefern aus Naturverjüngungen auf verschiedenen Standorten läßt die Untersuchung der Ausbildung der Wurzeltracht erwarten. Deshalb wurde bei all den Kiefern, die für die genaue Aufmessung im Labor entnommen worden waren, deren Wurzelsystem nach den Empfehlungen von KREUTZER (1961) folgendermaßen charakterisiert:

- Pfahlwurzel - Hauptwurzel mit mehr oder minder senkrechtem Verlauf,
- Herzwurzel - Hauptwurzel mit einem schräg abwärts gerichteten Verlauf,
- Flachwurzel - Hauptwurzel mit einem horizontalen Verlauf, meistens über dem Mineralboden.

In Tab. 24 sind die prozentualen Werte für die Häufigkeit des Vorkommens der drei Wurzeltypen auf den untersuchten Flächen aufgelistet. Auf 7 von 13 Flächen hatten mehr als 50 % der Kiefern Pfahlwurzeln. Die Unterschiede bei den Pfahlwurzelanteilen sind aber gewaltig. Auf einer Fläche (Erlangen 1) erreichten sie 81 %. Dagegen wurden auf 2 Flächen (Waldsassen 1 und Pfreimd 1) nur sehr wenige Kiefern mit Pfahlwurzeln gefunden, in beiden Fällen 13 %. Herz- und Flachwurzeln fanden sich - alle Flächen zusammengekommen - in etwa gleichem Umfang bei jeweils rund 25 % aller Kiefern. Auf keiner Fläche aber hatten mehr als 50 % der Jungkiefern Flachwurzeln. Auf zwei Flächen kamen sie dagegen sogar bei weniger als 10 % der Bäumchen vor. Ebenso stark schwankte auch der Anteil der Übergangsform zwischen den beiden Wurzeltypen, der Herzwurzeln nämlich zwischen den Kiefern der verschiedenen Untersuchungsflächen.

Forstamt	Fläche Nr.	Prozentualer Anteil an Pflanzen mit		
		Pfahl- wurzeln %	Herz- wurzeln %	Flach- wurzeln %
Bamberg	2	66	17	17
	3	62	26	12
Pegnitz	6	71	17	12
Selb	4	59	12	29
Burglengenfeld	1	71	24	5
	2	66	12	12
Mitterteich	1	24	28	48
	2	39	19	42
Waldsassen	1	13	40	47
	2	24	48	28
Pfreimd	1	13	44	43
Amberg	1	31	53	16
Erlangen	1	81	11	8

Tab. 24 - Prozentuale Häufigkeit der verschiedenen Formen
des Wurzelsystems bei den Kiefern auf den unter-
suchten Verjüngungsflächen

Die unterschiedliche Ausformung des Wurzelsystems bei den jungen Kiefern wird hauptsächlich durch die Struktur des Bodens verursacht. EDER (1975) hat bei seinen Untersuchungen der Einflüsse von Bodenbearbeitungen auf die Wurzeltracht von gepflanzten Kiefern auf gepflügten Sandböden eine verstärkte Ausbildung von Pfahlwurzeln festgestellt, während auf unbearbeiteten Lehmböden eine Tendenz zur Ausbildung von flachen Wurzelsystemen bestand. Frühere Untersuchungen von BIBELRIETHER (1963) haben gezeigt, daß die Wurzeltracht der Kiefer stark vom Standort abhängig ist, und zwar auch noch in hohem Alter. Zwischen den Wurzeltrachten von Naturverjüngungskiefern und gepflanzten Kiefern konnte er dagegen keinen Unterschied feststellen.

Durch unsere Untersuchungen werden die Ergebnisse von EDER (1975) im wesentlichen dann bestätigt, wenn man die Häufigkeiten des Vorkommens der verschiedenen Wurzelsysteme nach den Bodenarten der Verjüngungsflächen gruppiert (vgl. Tab. 4). Das ist in Tab. 25 geschehen.

Bodenart	Prozentualer Anteil an Pflanzen mit		
	Pfahlwurzeln	Herzwurzeln	Flachwurzeln
Sand	69	19	12
Sandiger Lehm	25	37	38
Lehm	32	33	35

Tab. 25 - Mittlere prozentuale Häufigkeiten der Wurzeltrachten in Abhängigkeit von der Bodenart.

Am häufigsten - und zwar zu rd. 70 % - werden demnach Pfahlwurzeln auf Sandböden ausgebildet. Nur bei 12 % der Bäumchen sind dagegen auf diesen Böden Flachwurzeln beobachtet worden. Auf sandigen Lehmböden ist ein leichtes Übergewicht der Flachwurzeln gegenüber den Pfahlwurzeln zu verzeichnen, 38 % stehen gegen 25 %. Die Lehmböden haben offenbar keinen deutlichen Einfluß auf die Ausbildung des Wurzelsystems ausgeübt, da die drei Wurzeltypen mit jeweils etwa gleichen Anteilen vorkamen. Die Häufigkeit des Vorkommens von Herzwurzeln lag auf den drei Bodenarten zwischen der der anderen beiden Wurzeltypen.

Auch auf Flächen mit gleicher Bodenart gibt es aber noch beträchtliche Unterschiede in der Ausprägung der verschiedenen Wurzeltypen. So ist z.B. auf den Flächen Selb 4, Amberg 1 und Waldsassen 1 der Boden lehmig, trotzdem variieren die Pfahlwurzelanteile mit 59, 31 und 13 % beträchtlich. Diese großen Unterschiede werden sehr wahrscheinlich durch die verschiedenen Überschirmungen verursacht. Während auf den zwei ersten Flächen ein Teil der Bäumchen freigestellt ist, ist auf der dritten Fläche noch ein starker Schirm vorhanden.

4.6 Die oberirdische Biomasse von einzelnen Kiefern und Kiefernjungwüchsen

Auf den Untersuchungsflächen haben die Jungwüchse deutliche Unterschiede bei den ertragskundlichen Werten gezeigt. Vom Aspekt der Biomassenakkumulation kann aber eine Fläche mit vielen kleinen Pflanzen den gleichen Wert haben wie eine Fläche die mit wenig großen Pflanzen bestockt ist. Deshalb sollte mit Hilfe der Erfassung der Biomasse versucht werden, eine bessere Aussage über die Produktion des Standorts unter gegebenen Verhältnissen zu erhalten und um einen Vergleich mit Werten aus anderen Untersuchungen zu ermöglichen.

Zur Schätzung der Biomasse wurde die Regressionsanalysemethode angewandt, welche mit geringem Arbeitsaufwand die besten Schätzungen erlaubt (EDER, 1975; RANGER, 1978).

Bei dieser Methode der Biomassenerhebung wird eine Anzahl Pflanzen aus der Population entnommen, so daß die ganze Variationsbreite der individuellen Biomassen in der Stichprobe repräsentiert ist. Von diesen Pflanzen werden dann die Höhen und Durchmesser gemessen und die jeweiligen Biomassen bestimmt.

In der hier besprochenen Untersuchung wurden zur Biomassenbestimmung die größten Kiefern von jedem Probekreis herangezogen. Diese waren aber nicht immer die herrschenden Bäumchen. Dadurch sind zur Bestimmung der Biomassen auch Pflanzen aus niedrigeren sozialen Schichten entnommen worden und eine Streuung gewährleistet. Dies geschah aber nur auf den Verjüngungsflächen die im Jahr 1978 aufgenommen worden sind, insgesamt 13 Flächen. Die Bäumchen wurden grob zerkleinert und vorgetrocknet, nach Trennung der Nadeln von den Ästen die Holzteile nochmals zerkleinert,

das ganze Material bei 65 °C bis auf konstantes Gewicht getrocknet und zum Schluß die Komponenten Nadeln und Holz + Rinde gewogen. Auf die Trennung von Holz und Rinde wurde verzichtet, da dies bei den teilweise sehr dünnen Ästen und Schäften eine sehr langwierige Prozedur bedeutet hätte.

In die Regressionsanalyse gingen die Nadel-, Holz- und Rindentrockenmassen als abhängige, die jeweiligen Durchmesser in 10 cm Höhe und die Baumhöhen als unabhängige Variablen ein. Durch Multiplikation mit sich selbst und untereinander wurde die Zahl der unabhängigen Variablen erweitert. Sämtliche Berechnungen wurden mit Hilfe des Rechenprogramms BMDP 2R aus der BMDP-Serie durchgeführt.

4.61 Die Nadelbiomassenregressionen

In Tab. 26 sind die Regressionsgleichungen zur Berechnung der Nadel trockenmassen in Abhängigkeit vom Durchmesser und/oder der Höhe wiedergegeben.

Alle Gleichungen ergaben anhand der F-Teste hochsignifikante Übereinstimmungen zwischen den genannten Meßwerten und der Biomasse. Ihre Bestimmtheitsmaße lagen - abgesehen von den Verjüngungen der Fläche Bamberg 3 und Mitterteich 1, höher als 0,85, bei 4 Flächen sogar über 0,99. Dies bedeutet, daß die Variablen Höhe und Durchmesser in 10 cm Höhe eine gute Schätzung der Nadel trockenmasse der einzelnen Bäumchen erlauben. Auf 5 Flächen ist schon allein mit dem Quadrat des Durchmessers diese Schätzung möglich. Auf den anderen 8 Flächen muß noch die Höhe in die Formel eingehen. Bei zwei Flächen (Amberg 1 und Erlangen 1) brachten Gleichungen mit 5 Konstanten und 4 Variablen, die sich aus Höhe und Durchmesser sowie Produkten und Quadraten dieser ergaben, die beste Anpassung an die beobachteten Werte.

4.62 Die Holz- und Rindentrockenmassenregressionen

Bei den Beziehungen zwischen Höhe sowie Durchmesser und Holz- bzw. Rindentrockenmasse werden die Funktionen etwas komplexer, aber die Bestimmtheitsmaße steigen auch höher. Die niedrigste Bestimmtheit wurde bei Fläche Bamberg 3 mit 0,899 erreicht (Tab.27).

Forstamt	Fläche Nr.	Regressionsgleichungen	Bestimm- theitsmaß	Signi- fikanz
Bamberg	2	$Y = -1,209 + 0,108.D^2$	.950	++
	3	$Y = -3,409 + 0,018.H.D$	.679	++
Pegnitz	6	$Y = -0,0023 + 0,0045.H.D + 0,001.H.D^2$	.994	++
Selb	4	$Y = 5,573 + 0,243.D^2 - 0,015.H.D$	.994	++
Burglengenfeld	1	$Y = -0,011 + 0,123.D^2$	.866	++
	2	$Y = -0,795 + 0,121.D^2$	.950	++
Mitterteich	1	$Y = 0,312 + 0,08.D^2$	.754	++
	2	$Y = -3,621 + 0,14.D^2$	.994	++
Waldsassen	1	$Y = 12,182 + 0,0003.H.D^2$	.911	++
	2	$Y = 3,689 + 0,3127.D^2 - 0,0247.H.D$	.972	++
Pfreimd	1	$Y = -1,002 + 0,018.H.D$	.875	++
Amberg	1	$Y = 15,795 - 4,931.D - 0,006.H^2 + 0,0899.H.D - 0,0003.H.D^2$	.991	++
Erlangen	1	$Y = -24,172 + 1,037.H - 2,58.D - 0,004.H^2 + 0,001.H.D^2$	.976	++

H = Höhe der Jungkiefern

D = Durchmesser des Stammes in 10 cm Höhe

Sicherheit = 99 % (++)

Tab. 26 - Regressionsgleichungen, Bestimmtheitsmaß und Signifikanz für die Abhängigkeit der Nadeltrockenmasse von der Höhe und Durchmesser bei jungen Kiefern auf den untersuchten Verjüngungsflächen

Forstamt	Fläche Nr.	Regressionsgleichungen	Bestimmtheitsmaß	Signifikanz
Bamberg	2	$Y = -22,763 + 0,0514.H.D$	.984	++
	3	$Y = 61,611 - 12,475.D + 0,1016.H.D$	.899	++
Pegnitz	6	$Y = -0,1101 + 0,0009.H^2 + 0,0013.H.D^2$	.986	++
Selb	4	$Y = -237,672 + 4,924.H - 0,16.H.D + 0,0029.H.D^2$	.996	++
Burglengenfeld	1	$Y = -1,9041 + 0,0162.H.D + 0,0012.H.D^2$	.976	++
	2	$Y = 2,246 - 0,1966.H + 0,0488.H.D$	.988	++
Mitterteich	1	$Y = 27,562 + 0,0013.H.D^2$	.978	++
	2	$Y = -2,2274 + 1,4502.D + 0,0013.H.D^2$	.998	++
Waldsassen	1	$Y = 18,503 + 0,0018.H.D^2$	.978	++
	2	$Y = 39,111 + 0,0013.H.D^2$	.994	++
Pfreimd	1	$Y = -7,1024 + 0,0017.H^2 + 0,153.D^2 + 0,0006.H.D^2$	.982	++
Amberg	1	$Y = 15,983 - 11,9473.D + 0,8314.D^2$	.996	++
Erlangen	1	$Y = -58,989 + 2,9379.H - 10,9454.D - 0,011.H^2 + 0,0035.H.D^2$	.993	++

H = Höhe der Jungkiefern

D = Stammdurchmesser in 10 cm Höhe

Sicherheit = 99 % (++)

Tab. 27 - Regressionsgleichungen, Bestimmtheitsmaß und Signifikanz für die Abhängigkeit der Holz- und Rinden-trockenmasse von der Höhe und Durchmesser bei jungen Kiefern auf den untersuchten Verjüngungsflächen

Dieser Wert ist aber bedeutend höher als der für die Nadeltrok-
kenmassengleichung auf derselben Fläche. Von 13 Regressionen
hatten 9 eine Bestimmtheit über 0,98 und 5 davon höher als 0,99.
Alle Gleichungen sind nach dem F-Test als hochsignifikant zu be-
trachten.

Abweichend von den Nadeltrockenmassen hängt die Holz- und Rin-
dentrockenmasse mehr von Höhe und Durchmesser ab, und in der
Regel dürften die Funktionen mehrgliedrig sein.

4.63 Oberirdische Biomasse von Kiefernjungwüchsen

Mit Hilfe der Regressionen für Nadel-, Holz- und Rindentrocken-
masse wurden für die Verjüngungsflächen, die im Jahr 1978 auf-
genommen worden waren, Hektar-Schätzungen gemacht, und zwar
ausgehend von den Trockenmassen, die mit Hilfe der Dimensionen
jeder gemessenen Kiefer auf den Probekreisen errechnet wurden.
Die errechneten Hektarwerte sind in Tab. 28 aufgelistet.

Bevor nun die wichtigsten in der genannten Tabelle zusammenge-
stellten Ergebnisse angesprochen werden können, muß darauf hin-
gewiesen werden, daß ein direkter Vergleich der Biomassenerzeu-
gung der Verjüngung auf den einzelnen Untersuchungsflächen lei-
der nicht möglich ist, da die vorhandenen Unterschiede bei den
Pflanzenzahlen, dem Alter, bei Höhe und Belichtung einen großen
Produktionsunterschied bewirken.

Trotzdem sei die Größenordnung der Biomassenerzeugung nachfol-
gend skizziert. Für die Nadeltrockenmassen wurden Werte von 16
bis 2.000 kg/ha festgestellt, auf 6 von 13 Flächen fanden sich
weniger als 1.000 kg Nadeltrockenmasse pro Hektar, auf 2 Flä-
chen rund 2.000 kg/ha. Bei den Holz- und Rindentrockenmas-
sen variierten die Werte von 21 bis 10.900 kg/ha, 3 Flächen
wiesen weniger als 1.000 kg/ha auf, 1 Fläche mehr als 10.000 kg/ha.
Die gesamte oberirdische Biomasse der Jungwüchse schwankte zwi-
schen 37 und 12.700 kg/ha Trockensubstanz.

Forstamt	Fläche Nr.	Höhen- mittel ¹⁾ cm	Pflanzen- zahl tsd/ha	Trockenmassen		
				Nadeln kg/ha	Holz- und Rinde kg/ha	Gesamt kg/ha
Bamberg	2	142	35,5	400	1.400	1.800
	3	180	77,7	1.200	5.600	6.800
Pegnitz	6	25	75,5	16	21	37
Selb	4	248	21,7	1.600	7.400	9.000
Burglengenfeld	1	91	129,0	400	600	1.000
	2	80	94,0	200	600	800
Mitterteich	1	193	50,2	500	3.200	3.700
	2	129	73,7	1.100	2.800	3.900
Waldsassen	1	181	104,5	2.000	6.300	8.300
	2	221	36,2	1.300	6.800	8.100
Pfreimd	1	132	79,2	950	1.950	2.900
Amberg	1	261	21,5	1.800	10.900	12.700
Erlangen	1	136	124,7	2.000	5.200	7.200

¹⁾ Mittlere Höhe der höchsten Jungkiefen je Probekreis

Tab. 28 - Geschätzte Biomassenakkumulation der jungen Kiefen auf den Naturverjüngungsflächen.

Von allen Untersuchungsflächen bieten offenbar die Flächen Selb 4 und Amberg 1 die besten Wuchsbedingungen. Ihre Schirmbestände sind größtenteils abgeräumt, und ihre Standorte weisen keine größeren Störmomente auf. Die Dichte der Jungkiefen ist mit 21.700 bzw. 21.500 Stck/ha auf beiden Flächen zwar gleich, doch finden sich in Selb zusätzlich 36.000 Fichten/ha,

in Amberg sogar 57.200 Stck/ha. Außerdem unterscheidet sich die Verteilung der Fichten nach Höhenklassen, deshalb ist - trotz gleicher Dichte der Kiefern - die oberirdische Biomasse in Selb mit 9,0 t/ha geringer wie in Amberg mit 12,7 t/ha. Steigt die Pflanzendichte, so ist durch kleinere Pflanzen sogar eine größere Akkumulation zu erwarten. Dies wird deutlich beim Vergleich der Biomassenakkumulation auf den Flächen Selb 4 und Erlangen 1 mit 9,0 bzw. 7,2 t/ha. Die Biomassenakkumulation in Erlangen, zwar um 20 % geringer als in Selb, wird durch eine sehr große Pflanzenpopulation erreicht, wie der Vergleich der Pflanzendichten zeigt (21.700 bzw. 125.000 Stück/ha), trotz geringeren Dimensionen der Pflanzen (2,5 bzw. 1,3 m mittlere Pflanzenhöhe).

Solche Hochrechnungen sind zweifellos annehmbar. Das geht aus einem Vergleich mit den Ergebnissen von OVINGTON (1957) und EDER (1975), die in Tab. 29 wiedergegeben sind, hervor.

Jungwuchs aus	OVINGTON (1957)		EDER (1975)	
	Höhe (cm)	Masse (t/ha)	Höhe (cm)	Masse (t/ha)
Pflanzung	136	4,1	136	8,0
	285	15,4	142	11,0
	359	22,9	152	12,7
	485	35,4	253	27,1
Naturver- jüngung	225	40,6		
	432	34,1		

Tab. 29 - Oberirdische Biomasse von Kiefern in Bezug zur mittleren Höhe

Besser noch ist diese Übereinstimmung in Abb. 20 zu sehen. Die eigenen Werte liegen einwandfrei in den Rahmen, die von OVINGTON bei Kunst- und Naturverjüngungen vorgegeben worden sind. Die Werte, die von EDER ermittelt wurden, liegen allerdings teilweise sehr weit höher als die hier bestimmten. Bei solchen

Vergleichen ist also zu berücksichtigen, daß nicht nur Mittelhöhen, die als Vergleichsbasis dienen, sondern auch die Pflanzendichten für die akkumulierten Biomassen ausschlaggebend sind.

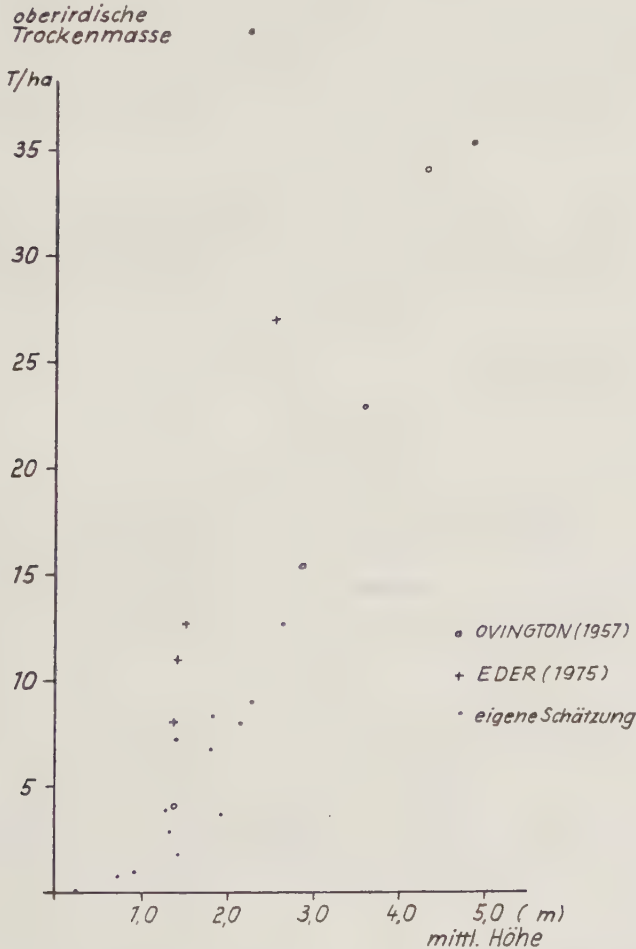


Abb. 20 Mittlere Höhe und oberirdische Trockenmassen von den untersuchten Naturverjüngungen, mit Vergleichsgrößen von O'VINGTON (1957) und EDER (1975)

4.7 Der Kleinstandort in den Probekreisen

Die Erfolge bei der Naturverjüngung mit dem Pegnitzer-Verfahren lassen einen Einfluß der Bodenbearbeitung auf das Fußfassen der Kiefern als wahrscheinlich erscheinen. Aus früheren Untersuchungen (REBEL, 1924; ROTTMANN, 1966) ist der positive Effekt der Bodenbearbeitung bekannt. Die Unebenheiten der Bodenoberfläche unterbrechen den Schluß der Bodenvegetation und -auflage und führen zu unterschiedlichen Keim- und Entwicklungsbedingungen für die jungen Kiefern.

Bei dieser Untersuchung wurden die Probekreise, wie in Abschnitt 2.332 beschrieben, deshalb kleinstandörtlich charakterisiert. Die Ergebnisse dieser Aufnahmen werden in den folgenden Abschnitten und die waldbaulichen Konsequenzen in Abschnitt 5 besprochen.

4.71 Die Humusauflage

4.711 Zusammensetzung der Humusauflage

Unter Humusauflage ist die Bodenschicht zu verstehen, die vorwiegend aus biologischem Material besteht und bis zum Mineralboden reicht. In Tab. 30 ist die prozentuale Häufigkeit der verschiedenen Humusauflagetypen auf den Verjüngungsflächen wiedergegeben. Die Altbestände setzen sich auf den Untersuchungsflächen fast ausschließlich aus Kiefern oder Kiefern-Fichten-Mischungen zusammen mit nur geringer Beimischung von Laubbäumen. In keinem Fall war deshalb eine tote, nicht zersetzte Laubschicht direkt auf dem Mineralboden zu finden. Das Vorkommen von unzersetzter Nadelstreu beschränkte sich hauptsächlich auf das Forstamt Pegnitz, da dort die Bodenbearbeitung sehr oft angewandt und somit die vorhandene Moderschicht in den Mineralboden gemengt wurde.

Auf 5 Flächen betrug der Anteil an Nadelmoder über 90 %, so daß von der Humusart her diese Flächen als wenig differenziert erscheinen. Diese Humusart findet sich insgesamt gesehen am häufigsten.

Forstamt	Fläche Nr.	Art der Streuauflage			
		Nadel- streu %	Nadel- moder %	Blatt- moder %	Moder %
Bamberg	1	-	67	7	26
	2	5	47	20	28
	3	-	82	5	13
Pegnitz	1	11	89	-	-
	2	7	21	41	31
	3	90	3	7	-
	4	13	50	-	37
	5	13	23	3	61
	6	18	35	35	12
Selb	1	46	46	12	42
	2	-	90	-	10
	3	-	97	3	-
	4	-	90	10	-
Burglengenfeld	1	-	80	12	8
	2	-	97	-	3
Mitterteich	1	-	67	5	28
	2	3	32	45	20
Waldsassen	1	-	97	-	3
	2	-	75	20	5
Pfreimd	1	-	70	15	15
Amberg	1	-	75	22	3
Erlangen	1	-	42	55	3

Tab. 30 - Zusammensetzung der Humusauflage auf den Naturverjüngungsflächen (Definitionen s.S. 19). Blattstreu wurde auf den Untersuchungsflächen nicht vorgefunden.

Die Humusart Blattmoder setzt sich auf den meisten Flächen aus abgestorbenen Organen von Gräsern und Sträuchern zusammen. Deshalb ist auf Flächen mit dichter Bodenvegetationsbedeckung diese Humusart auch öfters vertreten, ebenso wie der nicht weiter differenzierbare "Moder", da die Mischung aus Laub- und Nadelstreu wahrscheinlich günstigere Zersetzungsbedingungen bietet.

4.712 Die Mächtigkeit der Humusauflage

Neben der Humusart ist die Mächtigkeit der Humusauflage für das Fußfassen der Verjüngung von Bedeutung (HUNZIKER, 1956; LEHTO, 1956; YLI-VAKKURI, 1961; KOCH, 1968). Der Haupteffekt einer starken Humusauflage ist eine schlechtere Wasserversorgung der jungen Kiefern in Trockenperioden (AALTONEN, 1948; WITTICH, 1955).

Es galt daher festzustellen, wie stark die Humusauflage auf den Flächen ist. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tab. 31 aufgelistet. Danach schwanken die Mittelwerte zwischen ca. 1 und 10 cm, mit Schwerpunkt zwischen 3 und 5 cm. 3/4 aller Flächen hatten Humusauflagen von weniger als 5 cm Stärke. Bei 2/3 der Flächen waren die Streuungen hinsichtlich der Auflagenmächtigkeit zwar beträchtlich, aber ziemlich gleich (Variationskoeffizienten von 30 - 50 %), bei den übrigen streuten die Meßwerte zwischen den Stichprobepunkten auf jeder Fläche noch stärker. Die größten Abweichungen fanden sich auf Fläche Pegnitz 3 (Variationskoeffizient von 103 %). Das ist auch verständlich, denn auf ihr erfolgte eine Bodenbearbeitung, durch die öfters der Mineralboden freigelegt worden war. Es verblieben aber auch ungestörte Partien mit stärkeren Humusauflagen. Diese sind aber - absolut gesehen - auch nicht sehr bedeutsam, denn der Mittelwert der Humusauflagen betrug nur 0,8 cm. Die Zusammenhänge zwischen Mächtigkeit der Streuauflage und Verjüngung sollen noch in Abschnitt 5 näher erläutert werden.

Forstamt	Fläche Nr.	Stärke der Humusauflage		
		Mittelwert cm	Variations- koeffizient %	Standardfehler des Mittels %
Bamberg	1	4,3	47	12,1
	2	4,6	64	10,1
	3	5,5	37	5,8
Pegnitz	1	4,8	32	4,0
	2	3,3	56	10,4
	3	0,8	102	18,7
	4	3,3	44	8,1
	5	2,1	77	14,1
	6	3,1	64	10,1
Selb	1	4,4	61	12,0
	2	9,9	39	7,1
	3	7,6	34	6,2
	4	7,2	39	6,1
Burglengenfeld	1	3,4	32	5,1
	2	3,3	31	4,9
Mitterteich	1	4,4	63	10,0
	2	5,5	67	10,6
Waldsassen	1	4,1	34	5,4
	2	8,0	26	4,2
Pfreimd	1	2,9	36	5,7
Amberg	1	2,3	39	6,1
Erlangen	1	1,9	43	6,8

Tab. 31 - Statistische Kenngrößen zur Mächtigkeit der organischen Auflageschichten auf den untersuchten Verjüngungsflächen

4.72 Der Bodenzustand und die Beschaffenheit der Bodenoberfläche

Unebenheiten der Bodenoberfläche, d.h. die sog. Oberflächenrauhigkeit, lockern den Vegetationsschluß und variieren auf engstem Raum die Standortbedingungen (SCHÖNENBERGER, 1978). Das schnelle Abfließen oder die Ansammlung von Niederschlägen sind wohl die wichtigsten Auswirkungen dieser Oberflächenrauhigkeit auf den Standort. Sie kann durch Erosion oder menschliche Einwirkungen entstehen. Gerade die Eingriffe durch Menschen können Veränderungen der Bodenoberfläche bewirken (z.B. chemische Umwandlungen nach Verbrennen oder Einarbeitung der Streu), die verjüngungsfreundlich sind (YLI-VAKKURI, 1961; HAGNER, 1965; ROTTMANN, 1966; MALCOLM, 1976).

Um mögliche Auswirkungen des Bodenzustandes und der Beschaffenheit der Bodenoberfläche auf die Ansamung zu erkennen, wurde der Kleinstandort jedes Probekreises in eine von 3 Bodenzuständen und 4 Bodenoberflächenformen eingeordnet. Wie oft die verschiedenen Bodenzustände auftraten, gibt Tab. 32 wieder und Tab. 33 den Anteil der 4 Bodenoberflächenformen auf den Verjüngungsflächen.

Hiernach zeigt sich, daß 3 Verjüngungsflächen (Pegnitz 3, 5 und 6) einen relativ hohen Anteil an gestörter bzw. freigelegter Bodenoberfläche aufweisen, was meistens auf Bodenbearbeitung mit Spezialgeräten (Egge, Fräse) zurückzuführen ist. Bei anderen Flächen traten solche Störungen nur gelegentlich auf. Sie rühren meist vom Holzrücken her. Der Einfluß von Feuer auf die Verjüngung - als Konsequenz der Schlagraumverbrennung - kann fast vernachlässigt werden, da der Flächenanteil dieser Behandlungsart sehr gering ist. Der jetzige Zustand wird häufig als unverändert beschrieben, was aber nicht immer der Fall war. Da einige Bodenbearbeitungen schon sehr weit zurückliegen (siehe Bestandeschronik, Tab. 6), sind sie jetzt oft nicht mehr genau zu erkennen. Daher rühren möglicherweise auch die hohen Werte für die meisten Flächen in der Spalte "Unverändert" (Tab. 32).

Forstamt	Fläche Nr.	Bodenzustand		
		Unverändert %	Feuerstelle %	Gestört %
Bamberg	1	93	-	7
	2	73	-	27
	3	95	-	5
Pegnitz	1	95	-	5
	2	86	4	10
	3	3	4	90
	4	87	-	13
	5	7	-	93
	6	47	8	45
Selb	1	85	-	15
	2	100	-	-
	3	73	-	27
	4	70	-	30
Burglengenfeld	1	87	-	13
	2	100	-	-
Mitterteich	1	77	5	18
	2	80	-	20
Waldsassen	1	92	2	6
	2	100	-	-
Pfreimd	1	75	-	25
Amberg	1	92	-	8
Erlangen	1	92	-	8

Tab. 32 - Umfang erkennbarer Beeinflussung der Bodenoberfläche durch Bearbeitung bzw. Rücken und durch Feuer auf den untersuchten Verjüngungsflächen

Forstamt	Fläche Nr.	Beschaffenheit der Bodenoberfläche			
		Glatt %	Mulde %	Buckel %	Rauh %
Bamberg	1	93	7	-	-
	2	85	7	8	-
	3	98	-	2	-
Pegnitz	1	82	6	9	3
	2	90	3	7	-
	3	33	27	17	23
	4	80	7	13	-
	5	73	3	13	10
	6	55	15	15	15
Selb	1	88	8	4	-
	2	100	-	-	-
	3	67	13	17	3
	4	65	13	22	-
Burglengenfeld	1	100	-	-	-
	2	98	2	-	-
Mitterteich	1	77	10	8	5
	2	77	10	8	5
Waldsassen	1	90	5	5	-
	2	92	-	8	-
Pfreimd	1	95	-	5	-
Amberg	1	80	7	13	-
Erlangen	1	78	10	10	2

Tab. 33 - Beschaffenheit der Bodenoberfläche auf den untersuchten Verjüngungsflächen

Hinsichtlich der Oberflächenformen zeigen die meisten Untersuchungsflächen einen hohen Anteil an glatter Bodenoberfläche, selbst nach Bodenbearbeitung (vgl. Tab. 33). Die 3 Flächen mit intensiver Bearbeitung (Pegnitz 3, 5 und 6) haben zwar einen überdurchschnittlichen Anteil an rauher Bodenoberfläche, er macht aber im äußersten Fall nur 23 %. Ebenso sind die Formen "Mulde" und "Buckel" verglichen mit "Glatt" nur in geringem, allerdings vergleichbarem Anteil auf den Verjüngungsflächen zu finden.

Die Zusammenhänge zwischen Bodenzustand, Bodenoberflächenform und Verjüngung sollen wiederum in Abschnitt 5 näher erläutert werden.

4.73 Die Bodenvegetation auf den Verjüngungsflächen

Die Erfassung der Bodenvegetation hat zwei Gründe: Erstens ist die Vegetation ein Weiser für die vorgegebenen Standortbedingungen, wie Licht, Wasser und Nährstoffe; und zweitens ist sie ein Faktor, der die Kiefern naturverjüngung entscheidend beeinflussen kann (OLBERG, 1957).

In unserer Untersuchung stand der Aspekt der Konkurrenz für die Verjüngung im Vordergrund der Beobachtung. Es genügte daher eine Einteilung der vorkommenden Arten nach Gruppen. Von den Vegetationsartengruppen wurden auf jedem Probekreis das Deckungsprozent und die mittlere Höhe gemessen.

In den Tab. 34 und 35 sind die Mittelwerte aus den Probekreisen aufgelistet, wobei die Mittelhöhe der Vegetationsartengruppen für die ganze Fläche eine gewichtete Mittelhöhe ist nach der Formel

$$\bar{h} = \frac{\sum (h \times \text{Deckungsprozent})}{\sum \text{Deckungsprozent}}$$

Die Deckungsprozente der einzelnen Artengruppen zeigen deutlich, wie verschieden die Verjüngungsflächen sind. Kaum mehr als 2 Flächen haben nämlich eine ähnliche Zusammensetzung der Vege-

Forstamt	Fläche Nr.	ohne	Vegetationsartengruppen				
		Vegetation %	Moose %	Gräser %	Calluna %	Vaccinium %	Andere %
Bamberg	1	34	40	26	0	0	0
	2	18	58	6	5	12	0
	3	28	50	3	7	11	0
Pegnitz	1	20	21	0	13	46	0
	2	17	36	25	3	17	2
	3	25	35	7	24	5	4
	4	19	31	1	27	22	0
	5	9	39	1	30	21	0
	6	11	17	29	0	41	3
Selb	1	26	1	58	0	11	4
	2	52	26	16	0	5	0
	3	58	31	8	0	2	1
	4	50	29	18	0	2	0
Burglengenfeld	1	9	30	9	20	24	8
	2	26	32	6	4	30	0
Mitterteich	1	23	31	14	5	22	6
	2	9	4	15	27	44	1
Waldsassen	1	50	21	0	2	26	0
	2	22	9	17	2	49	0
Pfreimd	1	4	35	14	16	31	0
Amberg	1	59	17	12	1	11	0
Erlangen	1	16	12	37	26	8	0

Tab. 34 - Zusammensetzung der Bodenvegetation auf den Verjüngungsflächen nach Bodenbedeckungsprozent.

Forstamt	Fläche Nr.	Mittlere Höhen				
		Moose (cm)	Gräser (cm)	Heide (cm)	Beerkräuter (cm)	Sonstiges (cm)
Bamberg	1	8,6	13,7	-	-	-
	2	6,6	20,9	19,3	19,7	-
	3	8,7	17,1	19,1	34,4	-
Pegnitz	1	2,1	12,5	18,4	19,5	-
	2	9,8	24,4	30,3	25,6	25,2
	3	3,2	32,4	29,5	16,0	18,6
	4	3,8	5,0	19,7	18,1	15,0
	5	4,7	12,5	29,2	25,4	23,3
	6	3,8	23,2	10,7	23,0	28,5
Selb	1	1,0	10,2	-	17,8	20,9
	2	3,2	11,3	-	14,0	-
	3	3,6	7,0	-	26,2	15,0
	4	2,7	11,7	-	24,3	20,0
Burglengenfeld	1	5,5	17,0	15,4	18,4	20,2
	2	3,8	5,5	14,3	22,2	-
Mitterteich	1	3,2	19,3	14,2	20,0	20,1
	2	3,7	11,1	25,1	30,4	15,0
Waldsassen	1	4,3	15,0	13,3	22,6	-
	2	3,2	9,0	13,0	22,4	-
Pfreimd	1	2,2	8,6	15,5	20,7	10,0
Amberg	1	2,3	10,9	15,6	14,8	15,0
Erlangen	1	4,3	9,6	27,8	22,5	-

Tab. 35 - Mit dem Bedeckungsprozent gewichtete Mittelhöhen der Bodenvegetation auf den untersuchten Verjüngungsflächen

tation. Der Standort, die Bodenbearbeitung, die Überschirmung und die Zusammensetzung sowie das Alter der Verjüngung bewirken sehr wahrscheinlich diese Vielfalt.

Anhand der Bedeckungsprozente aus Tab. 34 konnten die 4 Vegetationsartengruppen nach abnehmender Bedeutung folgendermaßen geordnet werden:

- Moose: Die Deckungsprozente schwankten zwischen 1 und 58 %, auf 11 von 22 Flächen war das Deckungsprozent höher als 30 %.
- Vaccinium: Die Deckungsprozente schwankten zwischen 0 und 49 %, auf 5 Flächen waren sie höher als 30 %.
- Gräser: Die Deckungsprozente variierten zwischen 0 und 58 % und erreichten nur auf 2 Flächen Werte über 30 %.
- Calluna: Die Deckungsprozente lagen immer unter 30 %.

Relevant ist noch der Flächenanteil ohne Bewuchs. Er streute generell zwischen 4 und 59 %, wobei er auf 6 Flächen höher als 30 % und auf 3 Flächen sogar höher als 50 % war.

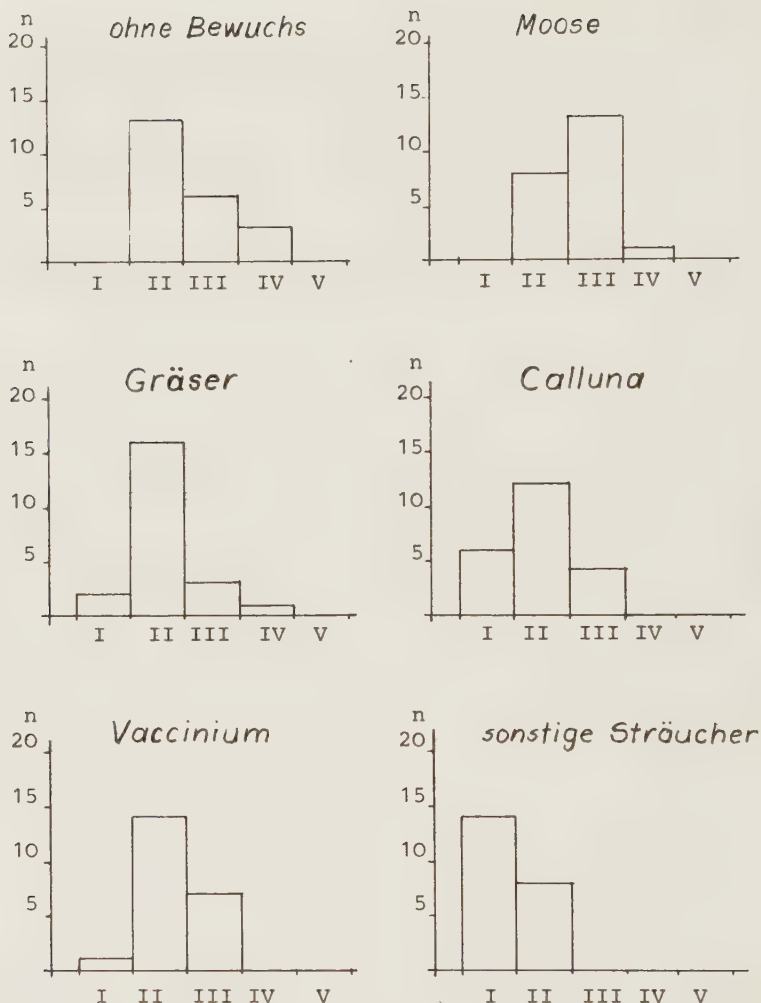
Neben den Deckungsprozenten können die mittleren Höhen der Vegetationsartengruppen wahrscheinlich eine Information über die Konkurrenzkraft der jeweiligen Artengruppen geben. Die Werte der mittleren Höhen müssen aber immer in Zusammenhang mit dem Deckungsprozent betrachtet werden. Das sei am Beispiel der Fläche Bamberg 2 erläutert. Dort würden die Gräser nämlich eine mittlere Höhe von rd. 20 cm erreichen, und sie würden sehr stark mit dem Kiefernanflug konkurrieren. Da sie aber nur auf 6 % der untersuchten Fläche vorhanden sind, kann ihr Einfluß nicht allzu groß sein.

Bei Ordnung der Vegetationsartengruppen nach der Höhe ergibt sich folgende Sequenz:

- Vaccinium: Die mittleren Höhen schwanken zwischen 14 und 35 cm. Auf 16 von 21 Flächen ist die Mittelhöhe kleiner als 25 cm, auf 5 Flächen größer.

- Calluna: Die Mittelhöhen variieren zwischen 11 und 30 cm. Auf 12 von 17 Flächen sind sie kleiner als 20 cm, auf 5 Flächen größer.
- Gräser: Die Mittelhöhen streuen von 5 bis 32 cm. Auf 18 von 22 Flächen sind sie geringer als 20 cm, auf 4 Flächen höher.
- Moose: erreichen mit 1-10 cm die geringsten Mittelhöhen. Auf nur 5 von den 22 Flächen liegen die mittleren Höhen über 5 cm.

Um ein besseren Überblick über die Zusammensetzung der Bodenvegetation auf den Verjüngungsflächen zu geben, wurden die mittleren Bedeckungsprozente der Vegetationsartengruppen auf den Flächen in 5 Klassen geordnet und die Häufigkeiten in jeder Klasse in Abb. 21 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, daß Flächen, auf denen eine Vegetationsartengruppe dominiert, sehr selten sind und niemals über 75 % Bedeckung aufweisen. Auf 7 Flächen sind einige Vegetationsartengruppen gar nicht vertreten (0 % Bedeckung), auf den meisten Flächen haben die verschiedenen Vegetationsartengruppen eine bis zu 25 %ige Beteiligung an der Bodenbedeckung.



Bedeckungsklassen: I= 0%, II= 1-25%, III= 26-50%, IV= 51-75%, V= 76-100%.

Abb. 21 - Verteilung der untersuchten Flächen nach mittleren Bedeckungsprozenten der einzelnen Vegetationsartengruppen. Das Häufigkeitsdiagramm links oben gibt die Verteilung der Untersuchungsflächen nach dem Flächenanteil (%) ohne Bodenvegetation wieder. (Siehe auch Tab. 34).

5. Abhängigkeit der Verjüngungsentwicklung vom Standort und den waldbaulichen Maßnahmen

Die Untersuchung der Kiefern naturverjüngungsflächen sollte hauptsächlich eine Zustandserfassung sein. Durch Messung von Faktoren, die eine Wirkung auf die Ansamung und Entwicklung der Jungkiefen haben, sollte weiter versucht werden, einige Gesetzmäßigkeiten herauszufinden, die, wenn bei der Behandlung von Althölzern beachtet, eine Naturverjüngung als Folge haben könnten.

Da die Praktiker in der Regel nicht über Meßinstrumente verfügen, die eine genaue Bestimmung der ökologischen Faktoren, z.B. Lichtintensität oder Bodenfeuchte, erlauben, sollte versucht werden, über einfach zu messende Bestandesmerkmale, wie Grundfläche oder Bodenbedeckung mit Bodenvegetation, die Chancen für eine Naturverjüngung auszumachen.

Die indirekte Erfassung und Kenntlichmachung der genannten Abhängigkeiten stößt nun aber auf einige Schwierigkeiten. Sie liegen in der verschiedenen Representation der Variationsbreite einiger Variablen und der großen Streuung der abhängigen Variablen, die sich teilweise aus der einer anderen Fragestellung angepaßten Stichprobennahme ergibt. Deshalb sind zwar keine genauen Aussagen über die vermuteten Zusammenhänge zu machen, trotzdem soll versucht werden, die diesbezüglichen Ergebnisse unter Berücksichtigung der erwähnten Handicaps wenigstens hinsichtlich ihrer Trends zu interpretieren.

5.1 Der Einfluß der Überschildung auf die Entwicklung des Jungwuchses

Die Kiefern naturverjüngung vollzieht sich generell unter dem Schirm des Altholzes. Um den Verjüngungsgang zu durchleuchten, ist deshalb die Kenntnis der Wirkung des Schirms auf die jungen Pflanzen von großer Bedeutung.

Zur Analyse des Einflusses der Überschirmung auf die Naturverjüngung wurden als unabhängige Variable für jeden Probekreis ein Überschirmungsprozent errechnet (vgl. Abschnitt 3.5) und als abhängige Variablen Kenngrößen der Verjüngung herangezogen, wie: Dichte, maximales Alter, maximale Höhe, mittlerer Höhenzuwachs der Jahre 1975, 1976 und 1977, Schlankheitsquotient, Nadel trockenmasse und Holz- und Rindentrockenmasse des größten Bäumchens von jedem Probekreis.

Mit dem Programm BMDP 5R der Serie BMDP wurden dann polynomi-ale Regressionen für den Zusammenhang zwischen der Überschirmung und jeweils einer abhängigen Variablen berechnet. Die Prüfung der Regressionen hat die Problematik der Interpretation gezeigt, da öfters Gleichungen des ersten, zweiten und dritten Grades einen sehr niedrigen F-Wert ergaben, d.h. die Streuung der Werte der abhängigen Variablen konnte nicht mit der Streuung der unabhängigen Variablen erklärt werden. Verschiedentlich hatte auch eine Funktion des dritten Grades die beste Anpassung an die beobachteten Werte, wofür sich dann aber keine biologische Erklärung finden ließ.

Um eine Vorstellung des generellen Zusammenhangs zwischen den Variablen zu bekommen, wurden die Anstiegskoeffizienten der linearen Regressionen in Tab. 36 zusammengestellt. Sie werden in den folgenden Abschnitten im einzelnen interpretiert.

5.11 Der Einfluß des Schirms auf die Pflanzendichten

Hinsichtlich der Abhängigkeit der Pflanzendichten von der Überschirmung stellte sich zunächst die Frage, ob die Pflanzenzahlen je Flächeneinheit mit zunehmender Überschirmung zu- oder abnehmen. Weiterhin sollte aber auch die Größenordnung: Mehr als 5 Pflanzen Differenz je m^2 zwischen den Beschirmungsvarianten nicht und zu 100 % überschirmt, oder gar mehr als 10 Pflanzen Differenz, ermittelt werden. Die in Tab. 37 aufgelisteten Daten sollen hierauf Antwort geben.

Art und Umfang der Pflanzendichtenver-änderung	Pflanzendichte bei zunehmender Überschirmung	
	ansteigend	abnehmend
generell	13	8
≧ 5 Pflanzen/ m^2	7	4
≧ 10 Pflanzen/ m^2	5	4

Tab. 37 - Zahl der Aufnahmeflächen mit zu- oder abnehmender Pflanzendichte bei zunehmender Überschirmung.

Forstamt	Fläche Nr.	Jung- kiefern je m ²	Alter (Jahre)	Höhe (cm)	Höhen- zuwachs (cm)	Schlank- heits- quotient	Nadel- trocken- masse (g)	Holz- u. Pin- kentrocken masse (g)
Bamberg	1	-0,10	-0,04	-0,90	-0,06	-0,25	-	-
	2	0,05	-0,02	-1,32	-0,18	0,10	-0,86	-3,29
	3	0,18	-0,00	1,14	0,11	0,14	1,09	2,97
Pegnitz	1	-0,01	0,03	0,20	0,02	0,17	-	-
	2	-0,01	-0,03	-0,71	-0,06	-0,10	-	-
	3	0,01	0,03	0,11	-0,03	0,45	-	-
	4	-0,11	0,10	0,28	0,01	1,15	-	-
	5	-0,16	0,03	0,03	0,01	0,04	-	-
	6	-0,10	-0,00	-0,17	-0,05	0,13	-0,01	-0,02
Selb	1	0,12	-0,00	-2,46	0,06	-2,33	-	-
	2	-0,02	0,06	0,21	0,02	-0,14	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-
	4	0,00	-0,06	-2,48	-0,26	0,25	-5,45	-28,09
Burglengenfeld	1	0,00	-0,03	-0,62	-0,06	-0,57	-0,17	-0,55
	2	0,00	-0,05	-0,97	-0,04	0,15	-0,24	-0,74
Mitterteich	1	0,12	-0,05	-1,56	-0,11	-0,65	-0,04	-2,81
	2	0,06	0,02	-0,90	-0,14	0,07	-1,10	-3,13
Waldsassen	1	0,10	-0,04	-1,12	-0,06	-0,40	-0,13	-2,09
	2	0,01	-0,08	-2,36	-0,15	-0,13	-2,60	-11,11
Pfreimd	1	-0,03	-0,05	-0,75	-0,05	-0,21	-0,53	-1,54
Amberg	1	0,01	-0,09	-2,57	-0,25	-0,72	-3,29	-16,54
Erlangen	1	0,26	0,02	-2,10	-0,15	0,31	-2,21	-7,21

Tab. 36 - Anstiegskoeffizienten der linearen Regressionen zwischen Überschirmung und einigen Variablen der Kiefernjungwüchsen.

Zwar gibt es 13 Flächen, die in ihren dunklen Bestandesteilen mehr Pflanzen haben als in den hellen. Aber dagegen stehen 8 Flächen, auf denen die Verhältnisse gerade umgekehrt liegen, die Pflanzendichte sich also mit zunehmender Überschirmung vermindert. Auch wenn man die Zu- oder Abnahme in der Größenordnung von 5 oder mehr Pflanzen je m^2 auf den Flächen betrachtet, zeigt sich noch die Tendenz des Dichteanstiegs bei größerer Überschirmung. Aus den erhobenen Zahlen ist aber keine Abhängigkeit der Pflanzendichte von der Überschirmungsintensität abzuleiten.

5.12 Der Einfluß des Schirms auf das Alter der Jungkiefern

Als abhängige Variable wurde für diese Regression das Alter der ältesten Kiefer im Probekreis genommen. Es wurde genau so vorgegangen wie in Abschnitt 5.11, nur lauteten die Fragen jetzt:

- Steigt oder fällt das Alter der Naturverjüngungskiefern mit zunehmender Überschirmung?
- Wie oft ist die Differenz gleich oder größer als 5 Jahre bzw. beträgt sie sogar 10 und mehr Jahre?

In Tab. 38 sind die Antworten auf diese Fragen zusammengestellt.

Art und Umfang der Altersveränderung	Alter bei zunehmender Überschirmung	
	ansteigend	abnehmend
generell	7	14
≥ 5 Jahre	2	5
≥ 10 Jahre	1	0

Tab. 38 - Zahl der Aufnahmeflächen mit zu- oder abnehmendem Alter der Jungkiefern bei zunehmender Überschirmung.

Auf 14 der untersuchten Flächen sind die Bäumchen in den dunklen Bestandepartien jünger als in den hellen. Im Gegensatz dazu sind auf 7 Flächen die jüngeren Bäumchen unter dem lichterem Schirm zu finden. Die Altersunterschiede sind sehr gering und nur wenig abhängig vom Schirm. Wird die Zu- oder Ab-

nahme in der Größenordnung von gleich oder mehr als 5 Jahren betrachtet, so hält die Tendenz des Alterrückgangs der Bäumen mit zunehmender Überschirmung an. Auf 1 Fläche dagegen standen die älteren Jungkiefen in den dunkleren Bestandesteilen. Der Altersunterschied betrug auf dieser Fläche 10 Jahre zwischen den Kiefern auf den hellen und dunklen Bestandesteilen.

Ein Grund für diesen Anstieg des Alters mit zunehmender Schirmstärke ist die Behandlung des Altholzes. Wird nämlich im Zuge einer Auflichtung oder Räumung die schon vorhandene Verjüngung nicht beachtet und vielleicht sogar noch durch Bodenbearbeitung zerstört, so verändert sich der Altersaufbau dieser Verjüngung. Auf den aufgelichteten Partien samt sich die Kiefer neu an, es entsteht eine Altersstruktur in dem Jungwuchs, die nicht allein durch den Schirm beeinflusst wurde.

5.13 Die Beeinflussung der maximalen Pflanzenhöhe durch die Überschirmung

Vom optischen Eindruck her hat die Überschirmung einen starken Einfluß auf die Höhenentwicklung der Naturverjüngungskiefern, sie verzögert diese nämlich. Deshalb sollte anhand des vorhandenen Datenmaterials abgeklärt werden:

- Ist bei zunehmender Überschirmung Wachstumsverzögerung oder vielleicht Wachstumsförderung zu beobachten?

Um außerdem Vorstellungen über die Größenordnung der Wachstumsreaktionen zu bekommen, war weiter gefragt worden:

- Wie groß ist der Höhenunterschied zwischen nicht und zu 100 % übershirmten Bestandesteilen, 50 cm und mehr, 100 cm und mehr oder gar 200 cm und darüber?

Die Antworten sind in Tab. 39 zusammengefaßt. Die in der Tabelle enthaltenen Daten zeigten einen deutlichen Einfluß der Überschirmung auf die Pflanzenhöhe, generell nimmt sie im Schatten ab. Auf nur 6 von 21 Flächen hatte die Überschirmung eine

Art und Umfang der Pflanzenhöhen- veränderung	Pflanzenhöhe bei zunehmender Überschirmung	
	ansteigend	abnehmend
generell	6	15
≧ 50 cm	1	14
≧ 100 cm	1	8
≧ 200 cm	0	5

Tab. 39 - Zahl der Aufnahmeflächen mit zu- oder abnehmender
Höhe der Jungkiefern bei zunehmender Überschirmung

Differenz von weniger als 50 cm bewirkt und auf 5 von diesen das Höhenwachstum sogar gefördert. Diese nur in Einzelfällen der Norm zuwiderlaufende Reaktion der Jungkiefern ergibt sich zwar aus den Daten, läßt sich aber mit den verfügbaren Informationen über die Bestände nicht erklären. Sehr wahrscheinlich sind die in Abschnitt 5.12 erläuterten Altersunterschiede der Grund für diese Abweichung. Bei größeren Höhenunterschieden aber ergibt sich kein Zweifel mehr über die wuchshemmende Wirkung der Altholzschirme auf die Naturverjüngung.

5.14 Die Beeinflussung der jährlichen Höhenzuwächse durch den Schirm des Altholzes

In Jungwüchsen aus Naturverjüngung haben die Bäumchen selten alle das gleiche Alter. Höhenvergleiche sind problematisch, da die Höhen der Pflanzen nicht nur vom Alter abhängen. Vielmehr spielen ökologische Faktoren beim Höhenwachstum eine wichtige Rolle. So können kleine Bäumchen noch sehr jung sein und ein gutes Wachstum haben oder bei gleicher Höhe schon weit älter, aber wegen ungünstiger Wuchsbedingungen kein gutes Wachstum haben. Werden Bäumchen allein nach ihrer Höhe analysiert, so können schlechtere Wuchsbedingungen durch höheres Alter ausgeglichen werden, und der Einfluß der Umwelt auf das Höhenwachstum ist nicht mehr erkennbar.

Zur Erfassung des Einflusses von Umweltfaktoren auf das Höhenwachstum von Jungkiefern müssen die Wuchsleistungen während eines

begrenzten Zeitraumes - der für alle Bäumchen gleich ist - verglichen werden. Am besten dienen dazu die jährlichen Höhenzuwächse der Bäumchen. Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Überschirmung und Höhenzuwachs wurden - wie schon in den vergangenen Abschnitten - drei Fragen gestellt:

- Welche Tendenz hat dieser Zusammenhang im allgemeinen?
- Wie oft ist die Differenz der Höhenzuwächse zwischen nicht oder zu 100 % überschirmten Pflanzen gleich oder größer als 10 cm bzw. gleich oder größer als 20 cm?

Die Antworten auf diese Fragen sind in Tab. 40 wiedergegeben.

Art und Umfang der Höhenzuwachsveränderung	Höhenzuwachs bei zunehmender Überschirmung	
	ansteigend	abnehmend
generell	6	15
≥ 10 cm	1	7
≥ 20 cm	0	2

Tab. 40 - Zahl der untersuchten Flächen mit zu- oder abnehmendem Höhenzuwachs der Jungkiefern bei zunehmender Überschirmung.

Die Überschirmung hat die Höhenzuwächse in vergleichbarer Weise wie die Gesamthöhen der höchsten Kiefern in den Probestreifen beeinflusst. Altersunterschiede scheiden nun aus. Auf 6 der untersuchten Flächen war der Höhenzuwachs in den dunklen Bestandespartien größer als in den hellen, auf 15 Flächen dagegen, wie zu erwarten, auf den abgeräumten Bestandesteilen größer. Nur auf 8 Flächen waren die Differenzen der Höhenzuwächse größer als 10 cm, auf 7 dieser Flächen stieg mit zunehmender Auflichtung auch der Höhenzuwachs. 2 Flächen hatten bei den Höhenzuwächsen der freigestellten Bäumchen eine Differenz von mehr als 20 cm gegenüber denen, die noch beschirmt waren.

Höhenentwicklung unter Schirm und auf der Freifläche

Wie wichtig die Auflichtung oder gar Räumung des Altholzes zur Steigerung des Höhenzuwachses für die Naturverjüngung ist, konnte sehr deutlich an der Fläche Mitterteich 2 festgestellt werden. Sie wurde nach dem Ankommen der Verjüngung teilweise freigestellt, so daß sich einige Pflanzen nach einer überschirmten Anfangsphase ohne Konkurrenz vom Altholz frei entwickeln konnten.

Für die genaue Untersuchung ihrer Höhenentwicklung wurden zwei Gruppen von Jungkiefern näher analysiert: Pflanzen, die auf dem geräumten Teil und solche, die unter geschlossenem Schirm standen. Es wurden dazu getrennt auf den beiden Flächenteilen Bäumchen ausgesucht, die im Moment der Aufnahme jeweils etwa die gleiche Höhe und einen ähnlichen Zuwachs hatten. Nach dieser Auslese blieben 8 Bäumchen in jeder Gruppe übrig.

Die Gruppe auf der Freifläche hatte im Jahr 1978 eine Mittelhöhe von 171 cm, die Gruppe unter Schirm dagegen eine Mittelhöhe von 94 cm. Interessant ist nun zu sehen, wie sich der Zuwachs nach gleicher Reaktion beider Gruppen bis zum Jahr 1970, nach dem starken Eingriff mit der Teilräumung differenzierte (Abb. 22). Schon 2 Jahre nach der Räumung hatten die Bäumchen auf der geräumten Fläche einen Höhenzuwachs, der doppelt so groß war wie der von den beschirmten Bäumchen. 8 Jahre nach der Räumung war der Höhenzuwachs der freigestellten Bäumchen fast drei mal so hoch wie der der überschirmten.

Mit fast 40 cm Jahrestrieblänge zeigten die Kiefern der abgeräumten Bestandesteile übrigens einen vergleichbaren Zuwachsgang, wie ihn EDER (1975) bei künstlich auf Freiflächen begründeten Kiefernkulturen gemessen hat. Bei der hier erörterten Fläche Mitterteich 2 hat die überschirmte Phase nicht sehr lange gedauert. Deshalb ist die Verallgemeinerung der Schlußfolgerung, daß sich junge Naturverjüngungskiefern nach Auflichtung sehr schnell dem Zuwachs von Kulturen nähern etwas problematisch. VOEGELI (1953) hat aber in der Schweiz beobachtet, daß diese Reaktion auch nach länger dauernder Überschirmung zu erwarten ist.

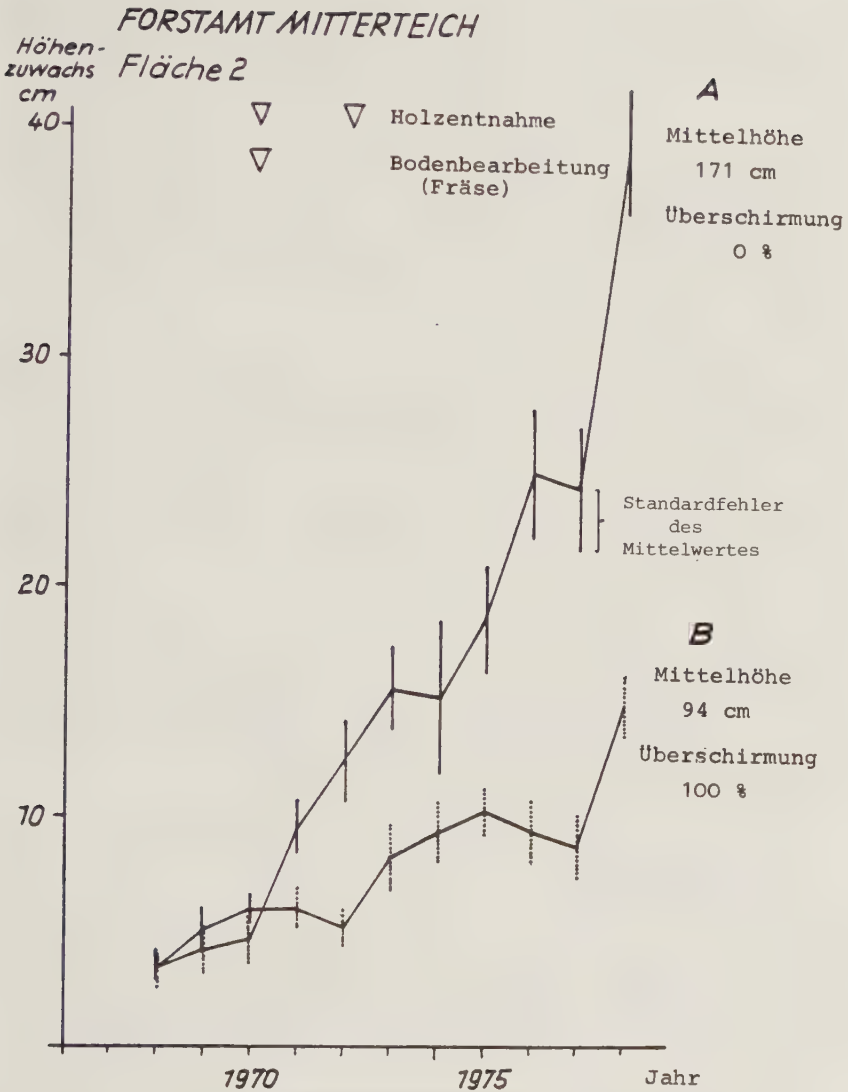


Abb. 22 - Mittlerer jährlicher Höhenzuwachs von Kiefern auf abgeräumten (A) und zu 100 % überschirmten Flächen (B).

Neben dem Beschattungseinfluß können nun noch andere Faktoren in das Geschehen hineinspielen. Damit lassen sich dann auch, wenigstens zum Teil, die genannten Abweichungen: verstärkter Höhenzuwachs bei zunehmender Überschirmung, aufklären. Hierzu soll der Extremfall, die Fläche Bamberg 3, mit einer positiven Differenz des Höhenzuwachses von mehr als 10 cm zwischen den lichten und voll überschirmten Bestandesteilen (Tab. 36) herangezogen werden. Diese Fläche weist große Standortsunterschiede auf mit kleinen feuchten Tälern und trockneren Rücken. Zufällig sind nun die trockneren Partien lichter, die feuchteren dunkler. Sehr wahrscheinlich bewirkt also das höhere Wasserangebot auf den dunkleren Stellen eine bessere Wachstumsleistung der Jungkiefern trotz größerer Überschirmung. Auch die Altkiefern haben an diesen Stellen nämlich ein besseres Wachstum. Dies würde aber bedeuten, daß das Vorankommen der Naturverjüngung auf einigen Standorten mehr eine Frage des Wasserangebots ist als des Lichts, daß es mindestens aber die Überschirmungswirkung stark überlagert.

Hierin kann eine Bestätigung der Aussagen von FRICKE (1904), FABRICIUS (1929), TANGERMANN (1930) und WITTICH (1955) gesehen werden. Diese Autoren meinen übereinstimmend, daß bei der Kiefernfernverjüngung unter Schirm hauptsächlich die Wasserversorgung der jungen Kiefern eine Rolle spielt.

5.15 Die Beeinflussung des Schlankheitsquotienten durch die Überschirmung

KUNZ (1953) hat mit Hilfe des Schlankheitsquotienten $h/d_{h/2}$ nachgewiesen, daß Kiefern mit zunehmendem Lichtentzug schlanker aufwachsen, was auch den Praktikern allgemein bekannt ist. Dagegen hat GRILC (1970) bei Fichten das Gegenteil beobachtet.

Es galt nun zu klären, welche Größenordnung und Tendenz diese Änderung des Schlankheitsquotienten annimmt. Dafür sollten wieder die Fragen beantwortet werden:

- Nimmt der Schlankheitsquotient mit zunehmender Überschirmung zu oder ab?
- Auf wievielen Flächen erreicht die Differenz 10 % und mehr, auf wievielen gar 20 % und mehr?

Die Antworten wurden in Tab. 31 zusammengestellt.

Art und Umfang der Veränderung des Schlankheitsquotienten	Schlankheitsquotient bei zunehmender Überschirmung	
	ansteigend	abnehmend
generell	11	10
≥ 10 %	9	10
≥ 20 %	4	7

Tab. 41 - Zahl der Verjüngungsflächen mit zu- oder abnehmendem Schlankheitsquotienten bei zunehmender Überschirmung.

Anhand des vorliegenden Datenmaterials zeigt sich keine eindeutige Zunahme des Schlankheitsquotienten mit Zunahme der Überschirmung. Vielmehr gibt es schlanke wie auch weniger schlanke Jungkiefern im starken Schatten. Von den 21 Flächen war auf 11 bei Zunahme der Überschirmung ein Ansteigen der Schlankheit zu vermerken, dagegen reduzierte sie sich auf 10 Flächen. Auf 4 Flächen war ein Ansteigen der Schlankheit um 20 % zu beobachten bei einer Steigerung der Überschirmung von 0 auf 100 %. Auf 7 Flächen aber nahm die Schlankheit in der gleichen Größenordnung ab. Sehr wahrscheinlich sind andere Faktoren im Spiel, die die Pflanzenform beeinflussen, sie konnten aber mit der hier angewendeten Aufnahmemethodik nicht identifiziert werden.

5.16 Einfluß der Überschirmung auf die Nadel trockenmassenproduktion

Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Nadel trockenmasse pro Baum und Überschirmung ist sehr problematisch mit der angewandten Aufnahmemethodik, da bei dieser Untersuchung mehr als bei allen anderen Parametern die Ausgangslage gleich sein müßte. In Naturverjüngungen ist dies aber kaum zu erreichen.

Deshalb kann nur eine annähernde Aussage über die Veränderung der Nadel trockenmasse mit der Überschirmung gemacht werden. Weiter kommt noch hinzu, daß sehr wahrscheinlich die Regressi-
onen zwischen den Trockengewichten und Überschirmungswerten nicht linear, sonder exponentiell sind und mithin keine An-
stiegskoeffizienten wie bisher zur Interpretation zur Verfü-
gung stehen. Die große Variation der Trockenmassen auf den
lichteren Stellen, ausgelöst durch zeitlich gestafelte Auf-
lichtungen, erschwert die Interpretation zusätzlich. Die nach-
folgenden Ausführungen sind deshalb vor dem Hintergrund dieser
Problematik zu sehen.

Für die Untersuchung standen 13 Flächen zur Verfügung. In Tab.
42 ist wiederum zusammengestellt, auf wievielen Flächen die
Nadel trockenmassen mit steigender Überschirmung zu- oder ab-
nehmen.

Art und Umfang der Veränderung der Nadel trockenmasse pro Baum	Nadel trockenmasse bei zunehmender Überschirmung	
	ansteigend	abnehmend
generell	1	12
≥ 50 g/Baum	1	7
≥ 100 g/Baum	1	5

Tab. 42 - Zahl der Verjüngungsflächen mit zu- oder abnehmender
Nadel trockenmasse pro Baum bei zunehmender Über-
schirmung.

Überraschend einheitlich zeigt sich nun daß die Überschirmung
die Stoffproduktion generell herabsetzt. Es wird darauf hinge-
wiesen, daß im allgemeinen 100 g Nadel trockenmasse der Nadel-
masse einer rd. 2 m hohen Jungkiefer unter Schirm entspricht.
Bei den meisten Verjüngungen ist die Differenz in der Trocken-
massenerzeugung je Baum allerdings geringer als 100 g. Das liegt
daran, daß viele Bestände keine Freiflächenanteile oder sehr
lichte Partien mit geringer Überschirmung enthalten. Die Reduk-
tion der Nadel trockenmasse ist aber wegen der exponentiellen
Wachstumsreaktionen der Kiefer bei Steigerungen von 0 auf 50 %

viel größer als bei Steigerungen von 50 auf 100 %. Haben die Jungwüchse also eine Variation der Überschirmung im dichten Bereich (50-100 %), so ist die Reduktion der Nadel trockenmasse geringer als bei vergleichbaren Unterschieden im lichterem Bereich (0-50 % Überschirmung).

Nur auf 5 Flächen, wo diese Verhältnisse gegeben waren, lagen die Nadel trockenmassen deshalb auch mehr als 100 g auseinander. Eine Ausnahme bildet wiederum Fläche Bamberg 3. Dort war ein Anstieg der Nadel trockenmasse mit zunehmender Überschirmung zu beobachten, sogar über 100 g pro Baum von den lichten zu den dunklen Bestandespartien. Sehr wahrscheinlich sind auch hier Wasserhaushaltsunterschiede des Bodens für diese außergewöhnliche Reaktion der Bäume verantwortlich.

5.17 Der Einfluß der Überschirmung auf die Holz- und Rinden trockenmassenakkumulation

Für die Holz- und Rindentrockenmassen gelten die gleichen Überlegungen und Einschränkungen wie für die Nadel trockenmassen. Da aber die Holzproduktion im großen und ganzen akkumuliert wird - bis auf die Masse, die durch Absterben und Abfallen der Trockenäste wieder verloren geht - ist die Änderung der Trockenmasse von Holz und Rinde anders als bei den Nadeln.

In Tab. 43 ist die Zahl der untersuchten Flächen aufgelistet, auf denen eine Zu- oder Abnahme der Holz- und Rindentrockenmasse bei zunehmender Überschirmung stattfand. Die Holztrockenmassenerzeugung war bei den untersuchten Jungwüchsen stets größer als die Produktion an Nadel trockenmasse. Schon eine 1,2 m hohe Jungkiefer akkumuliert durchschnittlich ca. 100 g Holz- und Rindentrockenmasse. Auf 8 von 13 Flächen reduzierte sich die akkumulierte Trockenmasse um mehr als 200 g/Baum bei einer Steigerung der Überschirmung von 0 auf 100 %. Auf einer Fläche dagegen, nämlich Bamberg 3, stieg die Akkumulation im gleichen Maße an. Dies ist den schon erwähnten Standortunterschieden auf dieser Fläche sehr wahrscheinlich zu verdanken.

Art und Umfang der Veränderung der Holz- und Rindentrocken- masse pro Baum	Holz- und Rindentrockenmasse bei zunehmender Überschirmung	
	ansteigend	abnehmend
generell	1	12
≥ 50 g/Baum	1	11
≥100 g/Baum	1	9
≥200 g/Baum	1	8

Tab. 43 - Zahl der Flächen mit zu- oder abnehmender Holz- und Rindentrockenmasse pro Baum bei zunehmender Überschirmung

5.2 Der Einfluß verschiedener Kriterien des Bodenzustands auf das Ankommen und die Entwicklung der Kiefern naturverjüngung

In jedem Probekreis waren mehrere Meß- und Schätzwerte des Bodenzustands erhoben worden, und zwar:

- Art und Mächtigkeit der Humusauflage,
- Veränderung des Oberbodenzustands, z.B. durch Bearbeitung oder Rückebetrieb und schließlich
- das Kleinrelief.

Mit Hilfe der Zählraten vom Jungwuchs, wie Gesamtzahl aller Jungkiefen, Zahl der Keimlinge und Zahl der 1-5 jährigen Kiefen (jeweils je m²), sollte versucht werden, die Abhängigkeit des Ankommens und der Entwicklung dieser Verjüngungen von den genannten Kriterien des Bodenzustands nachzuprüfen.

Wie schon bei der Überschirmung war die Analyse von Ursache und Wirkung dieser Abhängigkeiten nicht einfach. Hauptproblem war die ungleiche Zahl der Wiederholungen der Varianten der erhobenen Bodenzustandskriterien. Bei der Inventur wurden die Probekreise systematisch ausgelegt, und deshalb sind die einzelnen Varianten der Bodenzustandskriterien in den Stichproben proportional zu ihrer Häufigkeit auf den untersuchten Flächen vertreten.

Für statistische Vergleiche wären wohl nicht-parametrische Tests am geeignetsten, doch die teilweise sehr geringe Zahl an Wiederholungen einzelner Varianten lassen selbst solche Tests fragwürdig erscheinen.

Eine Wertung der Unterschiede fand nicht statt. Um einen möglichen Trend herauszufinden, wurden für jede Variante der Bodenzustandskriterien die Mittelwerte der Zählraten des Jungwuchses errechnet. Trotz der genannten Einschränkungen wurde eine Varianzanalyse mit dem Programm BMDP 1V gerechnet. Wie zu erwarten, brachte sie keine eindeutigen Aussagemöglichkeiten, obwohl einige hochsignifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten gefunden wurden.

Als weitere Analysemöglichkeit bot sich die Untersuchung der Häufigkeiten des höchsten mittleren Dichtewertes pro Variante je Bodenzustandskriterium an. Diese Analyse beruht auf einem einfachen Vergleich der Mittelwerte je Variante an einem Bodenzustandskriterium, und hier liegt der größte Vorbehalt gegen diese Methode. Sie soll aber nur den Trend andeuten, der je nach Größe der Differenz zwischen den Mittelwerten pro Variante schwächer oder stärker hervorgehoben wird.

5.21 Humusauflage und Naturverjüngung der Kiefer

5.211 Die Art der Humusauflage

Die Humusauflage wurde - vgl. Abschnitt 4.711 - in 4 Varianten vorgefunden:

- Nadelstreu,
- Nadelmoder,
- Blattmoder und
- Moder.

In Tab. 44 sind - wiederum einzelflächenweise - die mittleren Zahlen für die Jungkiefern aller Alter, die Kiefernkeimlinge und die 1-5 jährigen Kiefern jeweils pro m^2 gerechnet nach den Humusauflagevarianten aufgelistet. Auf den Flächen Pegnitz 3, Selb 3, Burglengenfeld 2 und Waldsassen 1 kam eine Variante sehr häufig vor, in einzelnen Probekreisen kamen andere Varianten der Streuart nur jeweils in einem Probekreis vor. Eine Analyse dieser Flächen war in bezug auf Einflüsse der Streuart auf die Verjüngung deshalb sinnlos.

Es zeigte sich, daß auf Nadelstreu in der Regel die Pflanzendichten höher sind als auf den anderen Streuart. Die Mittelwerte streuen zwischen rd. 3 und 24 Stck/ m^2 , wenn alle Kiefern

Forstamt	Fläche Nr.	Zahl der Jungkiefern je m ² auf				Zahl der Kiefernkeimlinge je m ² auf				Zahl der 1-5 jährigen Kiefern je m ² auf						
		Nadel- streu	Nadel- moder	Blatt- moder	Mittel- wert	Signi- fikanz	Nadel- streu	Nadel- moder	Blatt- moder	Mittel- wert	Signi- fikanz	Nadel- streu	Nadel- moder	Blatt- moder	Mittel- wert	Signi- fikanz
Bamberg	1	-	14,9	-	6,5	12,5	-	0,2	-	0,2	0,2	-	4,7	-	1,2	3,7
	2	6,5	3,9	3,2	2,5	3,5	-	-	-	-	-	2,5	0,0	0,0	0,0	0,1
	3	-	8,7	2,0	4,0	7,8	-	-	-	-	-	-	1,4	0,0	0,0	1,1
Pegnitz	1	10,2	9,7	-	-	9,8	6,0	1,2	-	-	1,8	++	1,6	3,0	-	2,9
	2	5,5	1,8	1,8	1,6	2,0	1,3	0,1	0,0	0,0	0,1	++	3,2	0,3	0,2	0,4
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	19,8	7,6	-	3,0	7,5	2,0	0,3	-	0,0	0,4	+	12,1	4,6	-	0,9
	5	15,2	16,3	-	16,7	16,4	3,5	1,8	-	3,1	2,8	-	11,5	13,6	-	12,6
	6	23,6	5,6	1,3	8,0	7,5	2,7	0,7	0,1	0,6	0,8	++	19,8	4,6	1,1	6,8
Selb	1	-	4,4	0,3	3,9	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	1,6	-	0,3	1,5	-	-	-	-	-	-	0,2	-	0,0	0,2
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	2,3	0,7	-	2,2	-	0,5	0,5	-	0,5	-	0,6	0,0	-	0,5
Burglengsfeld	1	-	15,3	2,6	4,7	12,9	+	0,4	0,0	0,0	0,3	-	-	1,0	0,0	0,0
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mitterteich	1	-	5,3	6,5	3,9	5,0	-	2,1	6,5	1,8	2,2	-	-	0,1	0,0	0,2
	2	-	11,5	4,8	3,2	6,7	++	0,3	0,0	0,2	0,1	+	-	0,1	0,1	0,0
Waldsaasen	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	4,3	1,1	3,5	3,6	+	1,6	0,0	0,0	1,2	-	-	0,1	0,0	0,0
Pfirsind	1	-	9,1	3,0	7,3	7,9	-	0,1	0,0	0,2	0,1	-	-	0,7	0,0	0,0
Anberg	1	-	2,6	0,9	-	2,2	+	0,5	0,0	-	0,3	-	-	0,2	0,0	-
Erlangen	1	-	12,2	12,5	-	12,4	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,1	-

Signifikanz: 95 % (+), 99 % (++)

Tab. 44 - Mittlere Pflanzendichten der Jungkiefern je Altersgruppierung und Humusauflageart auf den untersuchten Verjüngungsflächen. Die Häufigkeit des Vorkommens der einzelnen Varianten auf den Verjüngungsflächen ist aus Tab. 30 zu entnehmen.

gezählt werden. Auf den anderen Varianten der Streuauflage variierten die Dichten zwischen 0,3 und 17 Pflanzen/m².

Die Keimlingsdichten waren wesentlich geringer, wobei die vier Streuauflagevarianten in zwei gleiche Gruppen geteilt werden können: Auf Nadelstreu und Blattmoder schwankten die Dichten der Keimlinge zwischen weniger als 0,1 bis 6,5 Stck/m², auf Nadelmoder und Moder dagegen zwischen weniger als 0,1 bis 3,5 Keimlinge je m².

Die Zahl der 1-5 jährigen Kiefern steht als Ausdruck für das Fußfassen der angesamten Kiefern. Sie hatten auf dem Blattmoder die geringsten Dichten mit weniger als 0,1 bis 1,1 Stck/m². Auf den anderen Streuarten waren die maximalen Dichten weit höher, sie lagen zwischen 12,6 und 19,8 Stck/m². Doch fanden sich auch sehr geringe Dichten von weniger als 0,1 bis 1,6 Jungkiefern/m² auf den Varianten Nadelstreu, Nadelmoder und Moder.

Um den Einfluß der einzelnen Humusauflagearten auf die Pflanzendichten hervorzuheben, wurden die Ergebnisse aus Tab. 44 in Tab. 45 zusammengefaßt. Als Kriterium wurden die jeweils höchsten Mittelwerte je Gruppe auf jeder Fläche genommen.

Art der Humusauflage	Jungkiefern je m ²		Kiefernkeimlinge je m ²		1-5 jährige Kiefern je m ²	
	Flächenanteil ¹⁾ mit maximaler Pflanzendichte %	Anzahl der Flächen	Flächenanteil mit maximaler Pflanzendichte %	Anzahl der Flächen	Flächenanteil mit maximaler Pflanzendichte %	Anzahl der Flächen
Nadelstreu	83	6	100	5	67	6
Nadelmoder	55	18	31	13	65	17
Blattstreu	15	13	11	9	0	12
Moder	8	13	11	9	8	12

¹⁾ Es handelt sich um den Anteil der Flächen, bei denen der höchste Mittelwert der Pflanzendichten in den Probekreisen auf einer bestimmten Streuart gefunden wurde. Beispiel: Auf 6 Flächen fand sich neben anderen Varianten Nadelstreu; auf 5 Flächen entwickelten sich auf der Nadelstreu die höchsten Pflanzendichten, also $5:6 = 83\%$.

Tab. 45 - Häufigkeiten des höchsten Mittelwertes der Pflanzendichten je Kiefernaltersklasse und Variante der Streuauflagenart.

Es stellte sich heraus, daß sich - sofern auf den Verjüngungsflächen Probekreise mit Nadelstreu überhaupt anzutreffen waren - auf diesen in der Regel (67-100 % aller Flächen) höhere Pflanzendichten vorfanden als auf den Probekreisen mit den anderen Varianten. An zweiter Stelle stand die Variante Nadelmoder, bei der 31-65 % der Flächen mit dieser Streuart die höchsten Jungkieferndichten hatten. Auf den Probekreisen mit den Varianten Blattmoder und Moder waren nur in sehr wenig Fällen (0-15 % der Flächen) die höchsten Pflanzendichten bestimmt worden.

Aus Tab. 45 geht weiter hervor, daß für die Kiefernkeimlinge eine Nadelstreu sehr günstig ist, da auf den 5 Verjüngungsflächen, auf denen diese Variante der Humusauflageart vorkam, die höchsten Mittelwerte der Keimlingsdichte auf den Probekreisen mit dieser Variante vorgefunden wurden. Reine Nadelstreu kam nun generell nur dort vor, wo der Boden bearbeitet oder oberflächlich z.B. durch den Rückebetrieb verändert war und wo sich daran anschließend wieder einige Nadeln angesammelt hatten. Das gute Ansamungsergebnis ist also genau genommen kein Ergebnis der günstigen Streuverhältnisse, sondern vielmehr der vorangegangenen Bodenbeeinflussung.

5.212 Der Einfluß der Mächtigkeit der Humusauflage auf Ansamung und Fußfassen der Kiefer

Neben der Art ist auch die Mächtigkeit der Humusauflage untersucht worden. In Tab. 46 sind die mittleren Pflanzendichten von Kiefern verschiedener Altersstufen in Abhängigkeit von der Mächtigkeit der Humusauflage auf jeder Verjüngungsfläche aufgelistet.

Bei den mittleren Dichten der Kiefern in den drei Altersgruppen je Mächtigkeitsklasse der Humusauflage ist eine deutliche Abnahme der maximalen Pflanzendichten mit der Zunahme der Stärke der Humusauflage zu beobachten. Die mittleren Pflanzendichten streuen von 1-31 Stck/m² bei einer bis zu 1 cm starken Humusauflage und von 1,1-6,2 Stck/m² auf mehr als 10 cm starken Humusauflagen. Zwischen diesen beiden Extremen lagen die Dichten bei den anderen Mächtigkeitsklassen der Humusauflage.

Forstamt	Fläche Nr.	Zahl der Jungkiefern je m ²					Mittel- wert	Signi- fikanz	Zahl der Kiefernkeimlinge je m ²					Mittel- wert	Signi- fikanz	Zahl der 1-5 jährigen Kiefern je m ²					Mittel- wert	Signi- fikanz
		0-1 cm	1-2 cm	2-5 cm	5-10 cm	> 10 cm			0-1 cm	1-2 cm	2-5 cm	5-10 cm	> 10 cm			0-1 cm	1-2 cm	2-5 cm	5-10 cm	> 10 cm		
Bamberg	1	-	7,5	9,4	-	-	9,0	-	-	0,5	0,0	-	-	0,1	+	-	0,0	0,9	-	-	0,7	-
	2	1,0	-	3,7	4,8	-	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	-	0,2	0,0	-	0,1	
	3	-	-	10,4	3,7	-	7,8	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8	0,1	-	0,1	
Pegnitz	1	23,0	7,0	10,5	6,4	-	9,8	-	14,3	5,3	1,3	0,2	-	1,8	++	7,3	0,3	3,6	0,9	-	2,9	-
	2	3,0	1,4	2,0	1,1	-	2,0	-	0,5	0,1	0,0	0,0	-	0,1	-	1,3	0,6	0,1	0,0	-	0,4	-
	3	7,5	6,2	-	-	-	7,3	-	0,6	0,0	-	-	-	0,5	-	6,2	4,4	-	-	-	5,9	-
	4	30,8	6,2	5,1	0,5	-	7,5	++	2,5	0,2	0,2	0,0	-	0,5	+	20,3	3,9	2,4	0,0	-	4,3	++
	5	19,9	12,3	13,0	-	-	16,0	-	2,8	3,3	1,8	-	-	2,5	-	18,1	7,5	11,0	-	-	12,6	-
	6	20,9	7,2	2,1	3,2	-	7,5	++	2,0	0,6	0,4	0,5	-	0,8	-	17,9	5,8	1,7	2,5	-	6,3	++
Selb	1	2,5	5,0	5,0	2,4	-	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	1,2	1,5	1,6	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,5	0,1	0,2	-	-
	3	-	-	0,5	0,8	1,1	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Burglangensfeld	1	-	26,8	9,0	-	-	12,2	++	-	1,1	0,1	-	-	0,3	-	-	2,0	0,1	-	-	0,4	++
	2	-	13,4	8,5	-	-	9,6	-	-	0,9	0,6	-	-	0,7	-	-	5,3	0,5	-	-	1,6	++
Mittelsaich	1	-	-	4,4	10,2	-	5,1	-	-	-	2,3	2,0	-	2,3	-	-	-	0,1	0,0	-	0,1	-
	2	6,0	5,2	8,4	7,7	6,2	7,4	-	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,1	-	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	-
Waldhausen	1	-	17,0	10,5	8,3	-	10,4	-	-	3,0	1,5	0,4	-	1,4	-	-	0,0	0,3	0,0	-	0,2	-
	2	-	-	3,0	3,8	1,7	3,6	-	-	1,7	1,3	0,0	1,2	-	-	-	-	0,0	0,1	0,0	0,1	-
Pfretind	1	-	10,0	5,7	-	-	7,6	+	-	0,3	0,0	-	-	0,1	-	-	1,0	0,1	-	-	0,5	-
Ansbarg	1	2,4	2,0	2,2	-	-	2,1	-	0,8	0,1	0,4	-	-	0,3	-	0,6	0,1	0,0	-	-	0,1	-
Erlangen	1	20,7	13,0	6,1	-	-	12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,1	0,0	-	-	0,1	-
Signifikanz: 95 % (+), 99 % (++)																						

Signifikanz: 95 % (+), 99 % (++)

Tab. 46 - Mittlere Pflanzendichten der Jungkiefern je Altersgruppierung und Stärke der Humusauflage auf den untersuchten Verjüngungsflächen.

Die Keimlingsdichte war ebenfalls sehr stark von der Stärke der Humusauflage abhängig. Nach den erhobenen Daten wurde die höchste mittlere Keimlingsdichte von $14,3 \text{ Stck/m}^2$ bei einer Humusauflage von maximal 1 cm Stärke angetroffen. Zwar konnten in dieser Stärkeklasse auch Dichten von weniger als 0,1 Keimlinge je m^2 beobachtet werden, doch waren die Extreme aller anderen Klassen - mit 1,2 bis $3,3 \text{ Stck/m}^2$ - weit geringer als der Extremwert der Klasse 0-1 cm Humusauflage. Bei den 1-5 jährigen Kiefern ließ sich der gleiche Trend beobachten, doch liegen hier die extremen Dichten etwas höher. Mit $20,3 \text{ Stck/m}^2$ für die niedrigste Klasse und $1,5-11,0 \text{ Stck/m}^2$ für die anderen Klassen ist wiederum ein deutlicher Einfluß der Humusauflage auf die Pflanzendichte zu beobachten.

Um eine bessere Übersicht des Zusammenhangs zwischen Stärke der Humusauflage und Dichten der Kiefern in verschiedenen Altersstufen zu bekommen, wurden wiederum nur die größten Dichten je Verjüngungsfläche und Altersklasse der Kiefern betrachtet. In Tab. 47 sind die Häufigkeiten des Vorkommens des größten Mittelwertes je Mächtigkeitsklasse der Humusauflage zusammengestellt worden.

Mächtigkeit der Humusauflage (cm)	Jungkiefern je m^2		Kiefernkeimlinge je m^2		1-5 jährige Kiefern je m^2	
	Flächenanteil mit maximaler Pflanzendichte %	Anzahl der Flächen	Flächenanteil mit maximaler Pflanzendichte %	Anzahl der Flächen	Flächenanteil mit maximaler Pflanzendichte %	Anzahl der Flächen
0,0 - 1,0	73	11	75	8	80	10
1,1 - 2,0	27	15	46	13	21	14
2,1 - 5,0	14	21	20	15	37	19
5,1 - 10,0	21	14	0	9	17	12
10,0	60	5	0	3	0	4

Tab. 47 - Häufigkeiten des höchsten Mittelwertes der Pflanzendichten je Kiefernaltersgruppe und Stärkeklasse der Humusauflage.

Wenn eine 0 - 1 cm starke Humusaufgabe vorkam, konnten auf diesen Probekreisen in der Regel die höchsten Dichten für alle Altersklassen der Kiefern gefunden werden (73 - 80 % der Fälle). Die nächste Stufe, Stärke der Humusaufgabe von 1 - 2 cm, trug mit 21 - 46 % bedeutend seltener die höchsten Pflanzendichten unter den vorkommenden Varianten. Die mächtigeren Humuslagen schnitten alle schlechter ab, bis auf die Auflagen, die stärker als 10 cm waren. Diese Klasse kam auf 5 Flächen vor, und auf 3 dieser waren die Mittelwerte der Dichte aller Kiefern am höchsten in dieser Klasse.

Für die Ansamung und das Fußfassen hat sich der Vorteil einer geringen Streuaufgabe deutlich gezeigt, wie schon bei anderen Untersuchungen herausgestellt wurde (YLI-VAKKURI, 1961; HAGNER, 1965; LEHTO, 1969).

5.22 Bodenoberfläche und Naturverjüngung

5.221 Veränderung des Zustands der Bodenoberfläche

Mit der Erfassung des Bodenzustands (vgl. Abschnitt 2.332) war beabsichtigt, den Einfluß von Veränderungen an der natürlichen Struktur der oberen Bodenschichten auf die Ansamung und das Fußfassen der Verjüngung zu quantifizieren. In Tab. 48 sind die mittleren Pflanzendichten pro Bodenzustandsvariante und Verjüngungsfläche aufgelistet. Nach dem F-Test sind hochsignifikante Unterschiede zugunsten der Störung der Bodenoberfläche (Bearbeitung, Holzrücken etc.) auf einigen Flächen zu verzeichnen.

Werden die Mittelwerte der Pflanzendichten je Bodenzustandsvariante betrachtet, zeigt sich deutlich der Vorteil der Bodenstörung für die Erhöhung der Pflanzendichte. Die mittleren Keimlingsdichten erreichten auf den ungestörten Flächenpartien höchstens 1,7 Stck/m², während auf den gestörten Partien Mittelwerte bis zu 19,3 Stck/m² bestimmt wurden.

Forstamt	Fläche Nr.	Zahl der Jungkiefern je m ²			Zahl der Kiefernkeimlinge je m ²			Zahl der 1-5 jährigen Kiefern je m ²								
		unge- stört	Feuer- stelle	verän- dert	Mittel- wert	Signi- fikanz	unge- stört	Feuer- stelle	verän- dert	Mittel- wert	Signi- fikanz	unge- stört	Feuer- stelle	verän- dert	Mittel- wert	Signi- fikanz
Bamberg	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	2,4	-	6,4	3,5	++	-	-	-	-	-	0,0	-	0,4	0,1	-
	3	8,1	-	2,0	7,8	-	-	-	-	-	-	1,2	-	0,0	1,1	-
Pegnitz	1	8,9	-	27,7	9,8	++	0,9	-	19,3	1,7	++	2,6	-	8,0	2,9	-
	2	1,8	7,5	1,5	2,0	-	0,1	2,0	0,0	0,1	-	0,2	5,5	0,0	0,4	-
	3	-	6,5	7,5	7,2	-	-	1,0	0,4	0,5	-	-	5,0	6,1	5,8	-
	4	4,0	-	30,4	7,5	++	0,1	-	2,7	0,5	++	1,6	-	21,6	4,3	++
	5	3,5	-	17,3	16,4	-	0,5	-	3,0	2,9	-	1,5	-	13,5	12,7	-
	6	0,8	11,3	14,0	7,5	++	0,0	3,7	1,2	0,8	++	0,7	6,7	12,2	6,3	++
Selb	1	4,1	-	1,7	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	0,9	-	0,5	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	2,1	-	2,4	2,2	-	0,6	-	0,5	0,5	-	0,5	-	0,7	0,5	-
Burglengenfeld	1	12,7	-	14,0	12,9	-	0,1	-	1,6	0,3	+	0,4	-	3,0	0,8	+
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mitterteich	1	4,4	4,0	8,1	5,0	-	1,7	3,0	4,3	2,2	-	0,0	0,0	0,7	0,1	++
	2	8,1	-	4,2	7,4	-	0,2	-	0,0	0,1	-	0,1	-	0,0	0,1	-
Waldsassen	1	10,0	14,0	16,5	10,4	-	1,2	0,0	5,0	1,4	-	0,3	0,0	0,0	0,2	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pfresind	1	8,2	-	7,0	7,9	-	0,1	-	0,3	0,1	-	0,2	-	1,4	0,5	-
Amberg	1	2,1	-	2,3	2,1	-	0,3	-	1,3	0,3	+	0,1	-	1,0	0,1	++
Erlangen	1	12,9	-	7,0	12,5	-	-	-	-	-	-	0,2	-	0,0	0,1	-

Signifikanz: 95 % (+), 99 % (++)

Signifikanz: 95 % (+), 99 % (++)

Tab. 48 - Mittlere Pflanzendichten der Jungkiefern je Altersgruppierung und Bodenzustandsvariante auf den untersuchten Verjüngungsflächen.

Fast identisch sind die Unterschiede bei den 1-5 jährigen Kiefern. In dieser Altersstufe erreichten die mittleren Dichten auf den ungestörten Flächenteilen Werte von knapp 3 Stck/m² gegenüber 30 Stck/m² auf den bearbeiteten Flächenteilen.

Für die Ansamung und das Fußfassen ist demnach die Beeinflussung der Bodenoberfläche von größter Bedeutung. Die teilweise hohe Dichte der Kiefern aller Altersklassen auf den ungestörten Flächenteilen wird durch den Umstand erklärt, daß viele Bodenveränderungen zu weit zurückliegen, als daß sie noch im Gelände erkannt werden können. Einige Probekreise mit hoher Pflanzendichte wiesen im Moment der Aufnahme eine scheinbar unbeeinflusste Bodenoberfläche auf, doch in Wirklichkeit wurde vor 10 oder mehr Jahren die Oberfläche auf ihnen bearbeitet, und daher rühren die hohen Dichten.

Zur näheren Analyse der Pflanzendichten auf den verschiedenen Bodenzustandsvarianten wurde die Häufigkeit des Vorkommens der höchsten mittleren Dichte in Tab. 49 wiedergegeben. Danach zeigt sich, daß die Bodenzustandsvariante "verändert" auf 61-69 % der Flächen die höchsten Pflanzendichten trug, während die Variante "ungestört" auf 17-37 % der Flächen die höchsten Pflanzendichten trug. Die Variante "Feuerstelle" ist für die Keimlingsausbeute interessant, da auf 60 % der Flächen mit dieser Variante die Keimlingszahl/m² am höchsten war. Bei den 1-5 jährigen Kiefern sowie bei der Gesamtzahl der Kiefern war das nur auf 20 % der Flächen der Fall.

Bodenzustand	Jungkiefen je m ²		Kiefernkeimlinge je m ²		1-5 jährige Kiefern je m ²	
	Flächenanteil mit maximaler Pflanzendichte %	Anzahl der Flächen	Flächenanteil mit maximaler Pflanzendichte %	Anzahl der Flächen	Flächenanteil mit maximaler Pflanzendichte %	Anzahl der Flächen
ungestört	35	17	17	12	27	15
Feuerstelle	20	5	60	5	20	5
verändert	61	18	61	13	69	16

Tab. 49 - Häufigkeiten des höchsten Mittelwertes für Pflanzendichten in Abhängigkeit von dem Bodenzustand.

5.222 Das Kleinrelief und die Verjüngung

Die Ausprägung des Oberbodens nach Glätte oder Rauhigkeit und die Ausformung des Kleinreliefs nach Buckel oder Mulde könnte, so war vermutet worden, einen Einfluß haben auf die hydrologischen Verhältnisse der oberen Bodenschicht, die Konkurrenz zwischen den Pflanzenarten und dadurch vielleicht auch auf die Verjüngung der Kiefer. Die mittleren Dichten pro Kleinreliefvariante sind in Tab. 50 getrennt für jede Verjüngungsfläche und Altersgruppe der Kiefern aufgelistet. Die niedrige Zahl der signifikanten Unterschiede nach dem F-Test zeigt, wie gering die Variation war.

Betrachtet man die höchsten mittleren Dichten je Verjüngungsfläche und Altersgruppe der Kiefer, so wird der negative Effekt der Bodenoberflächenform "Mulde" ersichtlich. Die mittleren Pflanzenzahlen hatten bei dieser Variante die geringsten Werte, von 2,5 bis 11,7 Stck/m². Die Pflanzendichten stiegen generell über die Varianten "Glatt" und "Buckel" bis zur rauhen Bodenoberfläche. Auf dieser Bodenoberflächenform wurden die höchsten mittleren Pflanzendichten - mit 15,5 bis 25,0 Stck/m² - gezählt.

Werden die Dichten der Keimlinge allein betrachtet, so zeigt sich kaum ein Unterschied zwischen den Bodenoberflächenformen "Mulde", "Glatt" und "Buckel" (maximale Dichten von 2,4 - 3,7 Stck/m²), die Variante "Rauh" hebt sich aber mit maximal 15,5 Keimlingen/m² stark hervor.

Die allgemeine Tendenz der Beeinflussung der Naturverjüngung durch das Kleinrelief ist in Tab. 51 ersichtlich. Die Oberflächenform "Mulde" scheint einen negativen Einfluß auf die Ansamung und das Fußfassen der Verjüngung zu haben.

Öfters als bei der Variante "Mulde" wurden bei der Variante "Buckel" die höchsten Mittelwerte gefunden. Auf 20 - 31 % der Flächen, auf denen diese Variante vorkam, waren auf ihr die höchsten Pflanzendichten zu finden. Die Variante "Glatt" schneidet mit 35 - 47 %

Forstamt	Fläche Nr.	Zahl der Jungkiefern je m ²					Zahl der Kiefernkeimlinge je m ²					Zahl der 1-5 jährigen Kiefern je m ²				
		Mulde	Kleinrelief		Mittel- wert	Signi- fikanz	Mulde	Kleinrelief		Mittel- wert	Signi- fikanz	Mulde	Kleinrelief		Mittel- wert	Signi- fikanz
			glatt	Buckel				glatt	Buckel				glatt	Buckel		
Bamberg	1	-	-	-	-		-	-	-	-		-	-	-	-	
	2	1,0	3,9	2,0	3,5		-	-	-	-		0,0	0,1	0,0	-	0,1
	3	-	-	-	-		-	-	-	-		-	-	-	-	
Pegnitz	1	11,7	10,2	2,3	17,5	9,8	1,0	1,5	0,5	15,5	1,8	2,5	3,3	0,2	1,5	2,9
	2	-	2,1	1,5	-	2,0	-	0,1	0,0	-	0,1	-	0,4	0,5	-	0,4
	3	-	6,0	8,2	8,7	7,4	-	0,2	0,8	0,0	0,3	-	4,4	7,0	7,7	6,0
	4	1,2	6,3	18,2	-	7,5	0,0	0,1	2,4	-	0,5	0,2	3,4	12,7	-	4,3
	5	-	15,1	14,7	25,0	16,1	-	2,4	3,7	5,0	2,9	-	11,9	10,2	19,7	12,5
	6	3,0	9,2	0,7	12,8	7,5	0,7	1,1	0,0	0,8	0,8	2,3	7,6	0,5	11,7	6,3
Selb	1	2,0	4,0	-	-	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	0,2	0,9	0,8	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	2,2	1,9	3,0	-	2,1	0,0	0,6	0,5	-	0,5	0,2	0,4	1,1	-	0,5
Burglangenfeld	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mitterteich	1	3,2	5,5	1,7	6,5	5,0	2,5	2,0	1,7	6,5	2,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
	2	5,0	8,0	5,3	5,0	7,4	0,0	0,2	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
Waldnasen	1	5,0	10,5	15,5	-	10,4	0,0	1,5	0,0	-	1,4	0,5	0,2	0,0	-	0,2
	2	-	3,7	2,7	-	3,6	-	1,1	2,7	-	1,2	-	0,1	0,0	-	0,1
Pfreimd	1	-	7,5	15,0	-	7,9	-	0,1	0,0	-	0,1	-	0,5	0,0	-	0,5
Anberg	1	2,7	2,0	2,8	-	2,1	1,3	0,2	0,4	-	0,3	1,0	0,1	0,0	-	0,1
Erlangen	1	2,7	12,5	21,2	-	12,4	-	-	-	-	-	0,0	0,2	0,0	-	0,1

Signifikanz: 95 % (+), 99 % (++)

Tab. 50 - Mittlere Pflanzendichten der Jungkiefern je Altersgruppierung und Variante der Oberflächenform auf den untersuchten Naturverjüngungsflächen.

Kleinrelief	Jungkiefern je m ²		Kiefernkeimlinge je m ²		1-5 jährige Kiefern je m ²	
	Flächenanteil mit maximaler Pflanzendichte %	Anzahl der Flächen	Flächenanteil mit maximaler Pflanzendichte %	Anzahl der Flächen	Flächenanteil mit maximaler Pflanzendichte %	Anzahl der Flächen
Mulde	8	12	12	8	20	10
glatt	35	17	38	13	47	15
Buckel	31	17	31	13	20	15
rauh	83	6	50	6	50	6

Tab. 51 - Häufigkeiten des höchsten Mittelwertes der Pflanzendichte je Kiefernaltersgruppe und Variante der Oberflächenform des Bodens.

der Fälle besser ab. Die besten Ergebnisse wurden bei der Variante "Rauh" erzielt. In 50 bis 83 % der Fälle, in der sie vorkam, wurden nämlich bei ihr die höchsten Pflanzendichten je Altersgruppe und Verjüngungsfläche gefunden. Der gute Ansamerungserfolg ist augenscheinlich mit der Bodenbearbeitung verbunden, da diese Oberflächenform fast immer das Resultat des Einsatzes von Bodenbearbeitungsgeräten war.

5.3 Der Einfluß der Bodenvegetation auf das Ankommen und Fußfassen der Naturverjüngung

Allgemeinen Erwartungen zufolge kann man davon ausgehen, daß Flächen ohne Bodenvegetation der Verjüngung bessere Entwicklungsbedingungen bieten als solche mit Bodenvegetation. Weiter ist aus

der Literatur bekannt, daß verschiedene Vegetationstypen unterschiedliche Einflüsse auf die Verjüngung haben (OLBERG, 1957). Um diese Hypothesen zu überprüfen, wurden die Bodenbedeckungen der Probekreise mit 4 Vegetationstypen, und zwar Moose, Gräser, Heide und Beerkräuter, sowie der Anteil der Probekreisfläche ohne Bodenvegetation geschätzt (vgl. Abschnitt 2.332).

Zur Analyse des Zusammenhangs zwischen Bodenvegetation und Pflanzenzahlen wurden die Probekreise je Vegetationsartengruppe in 4 Bedeckungsklassen geordnet:

- | | | |
|--------------|-----------------|---|
| - 0 - 25 % | Bodenbedeckung, | |
| - 26 - 50 % | " | , |
| - 51 - 75 % | " | , |
| - 76 - 100 % | " | . |

Für jede dieser vier Bedeckungsklassen wurden dann je Untersuchungsfläche und Vegetationstyp die mittleren Pflanzenzahlen aller Kiefern/m², der Keimlinge/m² und der 1 - 5jährigen Kiefern/m² errechnet.

Leider zeigt sich nun, daß sich die vermutete Abhängigkeit der Pflanzenzahlen von der Bodenbedeckung durch die vier Vegetationstypen mittels der Inventurdaten kaum eindeutig herausarbeiten läßt. Ohne Kontrolle sämtlicher Faktoren, die die Verjüngung beeinflussen, sind Analysen der Wirkungen von Bodenvegetation auf die Verjüngung problematisch, eine statistische Absicherung dieser Zusammenhänge durchweg nicht möglich. Öfters waren nämlich die Ursachen der Beeinflussung kaum zu trennen, so daß alle Versuche, zu detaillierteren Aussagen zu kommen, schon vom Ansatz her dubios waren. Hier können letztlich offenbar nur regelrechte Verjüngungsexperimente weiterhelfen.

Nach mancherlei Versuchen, das Datenmaterial im Hinblick auf die Untersuchung des Effekts der verschiedenen Vegetationstypen zu durchleuchten, wurden schließlich nur noch die Probekreise herangezogen, die mehr als 75 % Bedeckung durch einen Vegetationstyp hatten. Für sie wurden die mittleren Pflanzenzahlen aller Kiefern je m², der Keimlinge und der 1 - 5jährigen Kiefern je Vegetationsartengruppe errechnet und in Tab. 52 zusammengestellt.

Vegetationsarten- gruppen	Anzahl der Probe- kreise	Alle Kiefern Stck/m ²	Keimlinge Stck/m ²	1-5 jährige Kiefern Stck/m ²
Moose	102	9,1	0,9	2,2
Gräser	50	4,2	0,4	0,8
Heide	26	7,6	0,6	2,1
Beerkräuter	60	6,1	0,5	0,7
75-100 % der Probe- kreisfläche ohne Vegetation	127	6,2	0,6	1,8

Tab. 52 - Mittlere Pflanzenzahlen/m² von allen Jungkiefern, der Keimlinge und der 1 - 5jährigen Kiefern je Vegetationstyp, von den Probekreisen mit mehr als 75 % Bodenbedeckung.

Die Moosdecke erwies sich demnach als die für Ankommen und Entwicklung der Verjüngung günstigste Bodenbedeckung, da unabhängig vom Alter der Jungkiefern auf ihr immer die höchsten Pflanzendichten anzutreffen waren. Auch bei Anwesenheit von Heide und Beerkräutern fanden sich noch zufriedenstellende Pflanzenmengen - jedenfalls wenn man die Gesamtzahlen der Jungkiefern und der Keimlinge zugrunde legt. Bei den Pflanzendichten der 1 - 5jährigen Kiefern scheint aber Heide vorteilhafter als die Beerkräuter zu sein. Die Probekreise, die mit mehr als 75 % durch Gras bedeckt waren, hatten die geringsten Pflanzendichten. Der Mittelwert der Kieferngesamtzahl war deutlich geringer als bei den anderen Vegetationstypen. Bei der Keimlingszahl dagegen ergab sich nur ein geringfügiger Unterschied, und bei den 1 - 5jährigen Kiefern sind die Mittelwerte auf gras- und beerkräuterbedeckten Probekreisen fast gleich.

Ein Einfluß der Bodenvegetation auf die Ansamung ist nur andeutsungsweise nachweisbar. Lediglich auf moosbedeckten Probekreisen waren die mittleren Keimlingszahlen pro m^2 etwas höher als auf den mit anderen Bodenpflanzen bewachsenen Probekreisen. Dagegen trat beim Fußfassen der Verjüngung die Wirkung der Bodenvegetation schon deutlicher hervor. Bei den 1-5 jährigen Kiefern ließen sich mit 2,2 und 2,1 Pflanzen/ m^2 in moos- und heidebewachsenen Probekreisen annähernd gleich hohe und gleich gute Verjüngungsergebnisse feststellen. Dagegen lagen die Werte auf Gras- oder Beerkrautbedeckung mit 0,8 bzw. 0,7 Stck/ m^2 beträchtlich geringer. Diese Zahlen bestätigen die Aussagen von OLBURG (1957), daß Heide und Moose kein Hindernis für die Verjüngung sind und gegenüber anderen Vegetationstypen sogar Vorteile aufweisen.

Vergleicht man mit diesen Mittelwerten nun aber die ebenfalls in Tab. 52 angegebenen durchschnittlichen Pflanzenzahlen der nicht oder nur geringfügig (bis max. 25 %) mit Bodenvegetation bedeckten Probekreise, so läßt sich keine Verbesserung des Verjüngungserfolgs gegenüber stärkerem Bodenbewuchs ablesen. Vielmehr sind die Pflanzendichten der drei Altersgruppen der Kiefer auf den Probekreisen ohne Bodenvegetation geringer als auf denen, die mit Moosen oder Heide bestanden waren.

Diese wider Erwarten geringen Pflanzendichten auf den Probekreisen ohne Bodenvegetation sind sehr wahrscheinlich auf andere Faktoren als die Konkurrenz durch die Bodenvegetation zurückzuführen. Die Probekreise ohne Bodenvegetation hatten nämlich bei den älteren Jungwüchsen meist eine stärkere Humusauflage oder waren durch weit herabreichende Kronen von Fichten so stark überschirmt, daß jeder Bewuchs durch Sträucher, Moose oder Kiefern aus Licht- und Wassermangel (hohe Interzeption) unmöglich wird. Auf den Probekreisen mit Beeinflussung des Oberbodens - meist durch Bodenbearbeitung - waren die Pflanzendichten sehr hoch. Man muß also davon ausgehen, daß wenig Bodenvegetation sowohl die Folge stärkerer Überschirmung als auch von Bodenbearbeitung sein kann. Beide Faktoren haben aber sehr un-

terschiedliche Effekte. Sie lassen sich jedoch bei der Auswertung von Inventurdaten oft nicht einwandfrei trennen, sondern liefern vielmehr stark verwässerte Ergebnisse.

5.4 Waldbauliche Folgerungen

Für eine Wertung der Ergebnisse müssen die verschiedenen Faktoren, die einen Einfluß auf die Verjüngung ausüben können, als ganzer Komplex betrachtet werden, da Begrenzungen durch einen Faktor den fördernden Effekt eines anderen zunichte machen können.

Die Überschirmung hat einen deutlichen Einfluß auf die Stoffproduktion. Meistens sinkt diese bei zunehmender Überschirmung. Eine Steigerung des Wasserangebots kann diesen negativen Effekt jedoch anscheinend ausschalten, jedenfalls dort, wo Wasser im Minimum ist. Eine Beeinflussung der Ansamung konnte nicht festgestellt werden, da weder Dichte noch Alter des Jungwuchses in irgend einer Richtung mit der Überschirmung variierten. Nur bei großen Unterschieden in der Schirmdichte ließen sich leichte Unterschiede in den Altersdurchschnittswerten der Verjüngung feststellen. Eingriffe im Altholz haben demnach direkten Einfluß auf die Entwicklung der Pflanzen und vermutlich auch auf die Auslösung des Verjüngungsprozesses, nicht aber auf die Dichte des Jungwuchses. Es ist anzunehmen daß nach Entnahme eines Teils des Altholzes die Wasserbilanz des Standorts verbessert wird und so dem Anflug Möglichkeiten zum Überleben gegeben werden. Die Stärke des Eingriffes muß sich demnach nach dem Standort richten: Auf feuchteren Böden kann die Entnahme der größten Konkurrenten - meist sind es die Fichten - ausreichen, auf trockneren dagegen muß sehr wahrscheinlich der Eingriff stärker sein. Dazu können aber keine Angaben gemacht werden, da der Wasserhaushalt der verschiedenen Standorte nicht untersucht wurde.

Die Ansamung wird hauptsächlich durch den Zustand des Bodens gesteuert. Schwache Streuauflagen, unter 1 cm Stärke, bieten anscheinend die besten Verjüngungsbedingungen, allerdings

konnte nicht bestimmt werden, ob es einen Unterschied zwischen der Reduktion der akkumulierten Masse durch Zersetzung der Streu oder der Beseitigung durch Bodenbearbeitung oder Feuer gibt. Die Oberbodenveränderung durch Bodenbearbeitung brachte in der Regel gute Resultate bei der Einleitung der Naturverjüngung. Durch sie wird die Streuauflage mit dem Oberboden vermengt, die Keimlinge können rasch in Kontakt mit dem Mineralboden kommen.

Die B o d e n b e d e c k u n g durch die Vegetation spielt zwar wahrscheinlich ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Ansammlung und dem Fußfassen der Verjüngung. Es liegt aber an der Aufnahmemethodik, daß nur sehr überschlägige Aussagen über den Einfluß der verschiedenen Vegetationstypen zu machen sind. Auf Flächen, die mit Moosen und/oder Heide bedeckt waren, konnten höhere Pflanzendichten der 1-5 jährigen Kiefern bestimmt werden als auf Flächen, die vorwiegend mit Gräsern oder Beerkräutern überzogen waren. Auf den Flächen ohne Bodenvegetation führt nicht allein das Fehlen der Konkurrenz zu höheren Pflanzenzahlen.

6. Diskussion der Ergebnisse und Folgerungen für die Praxis

Zu Beginn dieser Untersuchung wurde ein Fragenkatalog aufgestellt, um die Möglichkeiten der Kiefern naturverjüngung in Bayern abzuschätzen und eventuell Richtlinien für die Behandlung von Beständen bezüglich der Einleitung von Naturverjüngung aufzustellen. Genaue Angaben über die verschiedenen Faktoren, die die Naturverjüngung beeinflussen, sind allerdings nicht möglich, da bei der Auswahl der Untersuchungsflächen fehlgeschlagene Verjüngungen nicht einbezogen wurden, und dadurch nicht alle wichtigen ökologischen Faktoren in ihren Extremen erfaßt werden konnten.

6.1 Beantwortung der dieser Untersuchung zugrunde liegenden Fragestellung

Die **D i c h t e n** der Kiefern auf den Naturverjüngungsflächen waren sehr hoch, in der Regel über 20.000 Stck/ha. Im Extrem erreichten sie 164.000 Stck/ha. Diese Werte stehen in Einklang mit denen, die von GOTHE (1956) im Forstamt Schlitz in Nordhessen erhoben wurden, nämlich 44.000-134.000 Stck/ha. Solch hohe Pflanzendichten sind vollkommen ausreichend für die Erziehung von Qualitätskiefern, zumal durch die Beschirmung geringere Ansprüche des Schlusses als auf Freiflächen gestellt werden (WITTIH, 1955). Im allgemeinen reichen 20.000 Kiefern/ha in Naturverjüngungen aus, um zufriedenstellende Dicken zu erreichen (ERTELD, 1967; SIEDSCHLAG, SIEDSCHLAG und RUPP, 1977). Höhere Pflanzenzahlen in der Jugend bringen kaum merkliche Unterschiede in der Zahl der Z-Bäume bei Dichtungsschluß, da sich in dieser Phase der Entwicklung in der Regel nur 5.000-8.000 Bäume/ha durchsetzen können (vgl. Fläche Selb 3) und den allgemeinen Qualitätsansprüchen entsprechen (KLEBINGAT, 1962; KERN, 1973; KRAMER, 1977).

Die **V e r t e i l u n g** der Pflanzen auf den Verjüngungsflächen ist ein weiteres Kriterium zur Beurteilung von Naturver-

jüngungen. Aus den Verfahren zur Erfassung der Verteilung von Populationen ist das Nullflächendiagramm von COX (1971) am besten geeignet, da bei diesem Verfahren die Häufigkeit des Vorkommens von Flächenteilen ohne Pflanzenbestockung als auch deren Größe erkennbar wird. Von den 22 untersuchten Jungwüchsen erfüllten 5 nicht die Bedingungen für gelungene Verjüngungen, da sie häufig größere Lücken aufwiesen als 3 m^2 . In einem dieser 5 Jungwüchse waren jedoch viele Fichten vorhanden, die die größeren Lücken in der Kiefernbestockung ausfüllten, ein anderer hatte schon eine Entwicklungsphase erreicht, in der die Mindestforderung von 10.000 gut verteilten Kiefern je ha keine Gültigkeit mehr hatte.

Als M i s c h b a u m a r t spielt meist nur die Fichte in der Kiefern naturverjüngung eine wichtige Rolle. Alle anderen vorgefundenen Baumarten waren in der Regel künstlich eingebracht worden. Damit aber die Fichte sich verjüngen kann, müssen im Altbestand Samenbäume vorhanden sein. Das setzt voraus, daß bei den Auflichtungshieben nicht alle Fichten herausgenommen wurden und einige als Samenbäume stehen geblieben sind. Auf den Flächen, auf denen dies geschah, wurden Pflanzenmengen der Fichte bis 57.000 Stck/ha gezählt bei einem Mischungsanteil von rund 70 %.

Der A l t e r s a u f b a u der Verjüngungen ist unterschiedlich und hängt von der Behandlung des Altbestands ab. Wurden fördernde Eingriffe und Bodenbearbeitungen vorgenommen, so zeigt die Verjüngung meist nur geringe Altersunterschiede innerhalb eines Bestandes, nämlich 5 bis 10 Jahre. Ähnliches hat auch VANSELOW (1939) beobachtet. Stellt sich die Verjüngung dagegen kleinflächig oder gruppenweise ein, nachdem durch Herausnehmen oder Absterben nur weniger Bäume vor allem Licht- und Wasserzufuhr verbessert wurden, so hat diese Verjüngung im Ganzen gesehen eine größere Altersstreuung: Altersunterschiede von fast 35 Jahren wurden gefunden. Aus dem Vorhandensein sehr verschieden alter Pflanzen auf solchen Flächen kann wohl der Schluß gezogen

werden, daß in dem Untersuchungsgebiet keine Schwierigkeiten von der Samenproduktion her zu erwarten sind. Das Samenangebot war nämlich häufig und immer ausreichend. Ähnliches berichten HUNZIKER (1956) aus der Schweiz und BØRSET (1976) aus Finnland. Auch sie haben in den Kiefernjungwüchsen keine ausgeprägten Jahrgänge beobachten können. Keimung und Fußfassen hängen hauptsächlich vom Zustand der Bodenoberfläche ab. Treffen die Samen gute Keimbedingungen an - diese ergeben sich bei einer Streuauflage von weniger als 2 cm -, so vollzieht sich die Ansamung rasch. Wichtig für die Keimung ist ein offenes Keimbett mit genügender Wasserversorgung (HEFTI, 1917; FABRICIUS, 1929; OLBERG, 1955; HUNZIKER, 1956; SCHREMPF, 1978).

Der H ö h e n z u w a c h s der Jungkiefern wird erheblich vom Schirm beeinflusst. Verjüngungen auf geringen Standorten mit starker Beschirmung haben in der Regel geringere Zuwächse (5-10 cm). Nach Auflichtung nehmen die Zuwächse jedoch zu und erreichen bei totaler Freistellung rasch 30-40 cm jährlich. Auf besonders günstigen Standorten sind sogar Jahreshöhenzuwächse von 80 cm gemessen worden.

Auch die Differenzierung der jungen Kiefern im Höhenwachstum wird in erster Linie durch die Lichtverhältnisse im Bestand gesteuert und ist damit erstaunlich wenig vom Alter abhängig. Im allgemeinen haben die Jungwüchse linksschiefe Höhenverteilungen, d.h. der Dichtemittelwert der Höhe ist kleiner als die Mittelhöhe. Die Streubreite nimmt mit der Höhenentwicklung zu. Sie ist geringer unter Schirm im Vergleich mit freigestellten Verjüngungen.

Die akkumulierte oberirdische B i o m a s s e n der Kiefernjungwüchse sind eine Funktion der Pflanzendimensionen und der -dichten. Da die Dimensionen vom Schirm abhängig sind, ist es die Biomasse im wesentlichen auch. So konnte bei einem relativ dichten Schirm (Grundfläche = $30 \text{ m}^2/\text{ha}$) Trockenmassen der oberirdischen Teile von 1,0 t/ha (0,4 t/ha Nadeln und 0,6 t/ha Holz und Rinde) gemessen werden, bei lichterem Schirm (Grundfläche =

14 m²/ha) dagegen stiegen die oberirdischen Biomassen auf 7,2 t/ha (2,0 t/ha Nadeln und 5,2 t/ha Holz und Rinde). Beide Flächen haben vergleichbare Standorte (Ertragsklasse III.4 bzw. III.1) und Pflanzenzahlen in dem Jungwuchs (rd. 125.000 Stck/ha).

Die akkumulierte oberirdische Biomasse erhöht sich auf den freigestellten Flächen sehr schnell. Es wurden bis zu 12,7 t/ha gemessen. Beim Vergleich der eigenen, in Kiefern naturverjüngungen ermittelten Werten mit solchen in der Literatur mitgeteilten von Kunstverjüngungen ließen sich keine großen Unterschiede zwischen der Biomassenakkumulation von Naturverjüngungen und Kunstverjüngungen feststellen - etwa gleiche Mittelhöhen vorausgesetzt. So haben OVINGTON (1957) und EDER (1975) für Jungwüchse aus Kunstverjüngungen mit einer mittleren Höhe von 136 cm, 4,1 bzw. 8,0 t/ha oberirdische Trockenmasse bestimmt. In den eigenen Untersuchungen in Naturverjüngungen streuten für ähnliche Mittelhöhen die Biomassen zwischen 2,9 und 7,2 t/ha.

Die Bodenvegetation war auf den untersuchten Flächen kein großes Hindernis für die Naturverjüngung, da sie nie bodenbedeckend war, sondern immer Lücken blieben auf denen sich der Anflug entwickeln konnte. Es gab auf den Flächen keine dominierenden Vegetationstyp, vielmehr setzte sich die Bodenvegetation stets aus mehreren Typen zusammen. Diese können unterschiedliche Wirkungen auf die Verjüngung haben.

Am stärksten beeinflußt die Bodenvegetation die Wasserbilanz der oberen Bodendecke (HEFTI, 1917; WITTICH, 1955). In dieser Hinsicht hemmt die Heidelbeere das Wachstum der Kiefer sehr stark (HUNZIKER, 1956; LEIBUNDGUT, 1964), weniger dagegen die Heide. Ist diese mit einer Moosdecke unterwandert, verliert sie ihren Konkurrenzdruck auf die jungen Kiefern (BENINDE, 1939). Moose sind dagegen immer als Partner der Naturverjüngung zu sehen, da sie verdunstungshemmend wirken (OLBERG, 1955).

Auf einigen Flächen fanden sich Zwergsträucher, wie Calluna oder Vaccinium, nicht sehr dicht, aber gleichmäßig verteilt vor. Zwi-

schen diesen Zwergsträuchern wuchs aber meist eine Moosdecke, die von der Flächendeckung her genauso oder gar wichtiger als die Strauchschicht war. Geschlossene Grasdecken wurden dagegen nur selten in den Probekreisen gefunden. Mit ihnen war lediglich auf feuchteren Standorten zu rechnen.

Mit Hilfe der Inventurdaten wurde versucht, die Abhängigkeit der Verjüngungsentwicklung von den Umweltbedingungen abzuleiten. Hierzu wurden die wesentlichen erscheinenden ökologischen Faktoren in zwei Gruppen geteilt:

1. Faktoren, die die Keimung und das Fußfassen der Verjüngung beeinflussen und
2. Faktoren, die für die Entwicklung des Anflugs wichtig sind.

Keimung und Fußfassen der jungen Pflanzen sind weitgehend abhängig von der Situation des Oberbodens und der Vegetation. Am besten war die Keimung auf Böden mit einer schwachen Streuauflage - weniger als 2 cm stark - oder bei denen die Bodenoberfläche durch Bearbeitung, Rückebetrieb oder ähnliches beeinflußt worden war. Zu den gleichen Schlüssen kamen RAVE (1955), HAGNER (1965) und BØRSET (1976). Der Effekt jedes einzelnen Faktors ließ sich allerdings nicht trennen. Mit der Beeinflussung des Oberbodens war meistens auch die Entfernung der Bodenvegetation verbunden. Damit kann diese folglich auch keine Konkurrenz ausüben. Bleibt die Vegetation dagegen intakt, so werden Ansamung und Fußfassen deutlich erschwert, und zwar am stärksten durch Gräser und Beerkräuter, in geringerem Maße dagegen durch Heide. Eine Moosdecke wirkt allgemein fördernd auf die Verjüngung.

Aber auch der Altbestand übt anscheinend große Konkurrenz aus. Wie durch die Versuche von FRICKE (1904) und FABRICIUS (1929) bekannt, begünstigt die Ausschaltung der Wurzelkonkurrenz der Althölzer die Keimung. Werden also durch Auflichtung Bäume aus dem Bestand entnommen, so vermindert sich auch die Wurzelkonkurrenz, und durch eine günstigere Wasserversorgung wird der Anflug gefördert.

Höhen- und Durchmesserwachstum des Jungwuchses sind in erster Linie von der Schirmstärke abhängig. Der Standort kann aber auch gelegentlich eine wichtige Rolle spielen. Durch Auflichten der Bestände wird nicht nur das Lichtangebot erhöht, sondern ebenso die Interzeption der Niederschläge und die Entnahme von Wasser aus dem Boden durch den Altbestand verringert (HUNZIKER, 1956; BRECHTEL, 1969). Dies kommt dem Anflug zugute. Verjüngungen, die auf Standorten mit unterschiedlicher Bodenfrische stocken, können auf Lichtentzug unterschiedlich reagieren. Auf einer der untersuchten Flächen stieg die Trockenmasseproduktion der Bäumchen trotz steigender Überschirmung, was nur mit der unterschiedlichen Bodenfrische erklärt werden konnte. Sie variierte auf dieser Fläche nämlich stark. Zu den gleichen Ergebnissen kam WITTICH (1955) aufgrund von Untersuchungen in Eberswalde, bei denen er einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Wasserversorgung des Standortes und dem Schattenertragnis des Jungwuchses fand.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Naturverjüngung der Kiefer auf vielen Standorten durchaus zu zufriedenstellenden Ergebnissen führen kann, sofern die waldbaulichen Grundregeln nur beachtet werden.

6.2 Vorschläge für die Praxis

Ein Naturverjüngungsbetrieb bei der Kiefer kann zwei Ausgangslagen haben: Althölzer ohne Verjüngung oder solche mit mehr oder minder entwickelter Naturverjüngung. Beide Fälle unterscheiden sich sehr in der weiteren waldbaulichen Behandlung.

Haben - im erstgenannten Fall - Kiefernbestände die Hiebsreife erreicht, ohne daß sich nennenswerte Verjüngung eingestellt hat, so können der Verfahrensvorschlag von ROTTMANN (1966) oder das von LANG (1977) beschriebene "Pegnitzer-Verfahren" wesentliche Hilfe bei der Einleitung der Verjüngung liefern. Bei beiden Verfahren wird besonderes Gewicht auf die Bodenbearbeitung und die Auflichtung gelegt.

Die B o d e n b e a r b e i t u n g mit Scheibenegge oder Bodenfräse sorgt für die Reduktion der Streuauflage und ggf. vorhandener Bodenvegetation. Die mit dieser Bodenbearbeitung verbundenen Nährstoffverluste sind wahrscheinlich gering, da die Altkiefern des Schirmbestandes diese Nährelemente nach dem Umsatz der Streu aufnehmen können. Zusätzlich wird bei dem Pegnitzer-Verfahren durch eine Düngung das Nährstoffangebot erhöht, allerdings mit dem Nebeneffekt, daß die Entwicklung der Bodenflora durch Veränderung der chemischen Eigenschaften des Standorts vermutlich auch angeregt wird.

Durch eine A u f l i c h t u n g des Schirms - in Ki-Fi-Mischbeständen reicht die Entnahme der Fichten meist aus - erhöht sich die Strahlung im Bestand und vermutlich auch das Wasserangebot für den Anflug.

Bei der Auflichtung sollten, um spätere Schäden zu vermeiden oder zu minimieren, stets zunächst Fichten und andere Mischbaumarten, minderwertige Kiefern sowie Hänger u.a. schwer zu fällende Bäume entnommen und die räumliche Ordnung strikt eingehalten werden (AUFHAMMER, 1950; VÖGELI, 1954; WAGENKNECHT, 1963).

Stellt sich - so der zweitgenannte Fall - die Verjüngung frühzeitig, d.h. bereits vor Erreichen der Hiebsreife ein, so müssen einige Überlegungen angestellt werden, ob diese Verjüngung bereits übernommen werden soll oder ob ein Zuwarten auf das neuerliche Ankommen von Verjüngung zu einem späteren Zeitpunkt sinnvoll ist. Hierbei sind folgende Fragen abzuklären:

- Sieht das Betriebsziel die Kiefern naturverjüngungswirtschaft überhaupt vor?
- Ist die Naturverjüngung angesichts der Qualität der Mutterbäume erwünscht?
- Reicht die Qualität der Naturverjüngung aus für den Aufbau wertvoller Bestände?

Die Q u a l i t ä t d e s J u n g w u c h s e s wird nicht nur durch die Schaftqualität der einzelnen Stämme geprägt, sondern auch durch Pflanzenzahl und Verteilung dieser Stämme auf der Verjüngungsfläche. In den untersuchten Jungwüchsen waren die Pflanzenzahlen sehr hoch, meistens über der als minimal angesehenen Dichte von 10.000 Stck/ha. Die Verteilung der Bäumchen war zwar nicht immer voll befriedigend. Dabei kommt es im wesentlichen auf die Lücken an, nicht auf die besonders dichten Stellen,

die Klumpen. Die Lücken können allerdings zur Einbringung von Mischbaumarten genützt werden (AUFHAMMER, 1950; RAVE, 1955).

Von den Qualitätskriterien der Schäfte ist die Ästigkeit das wichtigste. Feinästigkeit ist gegeben, wenn kein Ast stärker als 2 cm ist (SCHÖPF, 1954). Die Anzahl der Äste wirkt nicht qualitätsmindernd. Für die Kiefernwirtschaft hat deshalb immer gegolten, daß die Produktion von Wertholz nur im Dichtstand oder unter Schirm möglich ist (DUESBERG, 1893; JUNACK, 1921; AUFHAMMER, 1950; KUNZ, 1953; KLEIN, 1964).

Soll eine Verjüngung unter Schirm übernommen werden, so ergeben sich aus der Verteilung der Bäumchen zwei Möglichkeiten: Die Holzentnahme allein oder die Holzentnahme mit nachträglicher Ausbesserung der Fehlstellen. Wichtige Voraussetzung ist die Planung der Eingriffe durch Anlegen von Rückegassen und Ausnutzung der größeren Lücken zur Schlagraumablage, um möglichst schonend die Holzentnahme zu vollziehen (AUFHAMMER, 1950; VOEGELI, 1954; WAGENKNECHT, 1963).

Für die Räumung des Schirms sind sowohl kurze Zeiträume von 5-10 Jahren (AUFHAMMER, 1950; ROTTMANN, 1966) als auch längere Perioden von 30-40 Jahren (BENINDE, 1943; VOEGELI, 1954; OLBERG, 1955; KLEIN, 1964) empfohlen worden. Bei einem schon gut entwickeltem Jungwuchs ist die langsame Räumung des Schirms immer mit Wertverbesserung verbunden. Von der Massenproduktion her können diese beschirmten Bäumchen nicht mit freigestellten konkurrieren, da die Auflichtung immer höheres Dicken- und Höhenwachstum bewirkt (WIEDEMANN, 1926; FABRICIUS, 1927; VOEGELI, 1954).

Wurde die Übernahme der vorhandenen Verjüngung wegen Qualitätsmängeln abgelehnt, so muß in den meisten Fällen keineswegs auf die Naturverjüngung verzichtet werden. Der vorhandene Jungwuchs deutet die Bereitschaft des Standorts für die Verjüngung an. Durch Beseitigung des vorhandenen Jungwuchses vor oder im Zuge der Holznutzung wird die Ausgangslage für eine gesteuerte

Naturverjüngung geschaffen. Stellt sich nun aber keine Verjüngung ein, ist nach der Räumung des Altbestands immer noch eine Kultur möglich.

Auf vielen Standorten ist auch in Bayern ohne viel Aufwand die Naturverjüngung der Kiefer möglich und sollte bei der Bestandeserneuerung in die Überlegungen einbezogen werden.

6.3 Wertung der Untersuchungsmethode und Anregungen für weitere Arbeiten

Im Verlauf dieser Untersuchung wurden oft Mängel an der Aufnahmemethodik festgestellt, durch die nicht möglich war, die ökologischen Zusammenhänge zufriedenstellend zu erfassen.

Wichtige Einflußfaktoren für die Verjüngung scheinen die Grenzwerte von Licht und Wasser zu sein. Über Inventuren lassen sich diese Werte nur erfassen, wenn in sämtlichen über 50 Jahre alten Kiefernbeständen eines größeren Forstbetriebs mit Stichproben Daten der Bestände, der Böden, der Bodenvegetation und etwaiger Verjüngungen erhoben werden. Anhand solcher Querschnittsuntersuchungen durch alle für die Entwicklung der Kiefern naturverjüngung relevanten Stadien dürfte es möglich sein, Aussagen über den Entwicklungsgang der Naturverjüngung in Abhängigkeit von der jeweiligen ökologischen Konstellation zu machen. Das ist allerdings nur mit einem gewaltigen Arbeits- und Meßaufwand möglich, der unsere Möglichkeiten bei weitem überschritten hätte.

Problematisch bleibt nach wie vor die *Q u a l i t ä t s b e u r t e i l u n g* von Verjüngungspflanzen. Das Fehlen von Grenzwerten für Qualitätskriterien erlaubt nur eine relative Beurteilung, die zudem sehr wenig über die zukünftige Qualität der Stämme aussagt. Für die objektive Beurteilung der Naturverjüngungen und der Abschätzung ihrer künftigen Entwicklung, insbesondere das Wachstum des Schaftes, sind mathematisch untermauerte Qualitätskriterien vonnöten. Hier könnten Stammanalysen älterer Bäume weiterhelfen. Sie sind allerdings sehr zeitaufwendig und damit teuer.

Von großer Bedeutung für die Naturverjüngung ist auch die Bodenvegetation. Hinsichtlich ihrer Dynamik und geeigneter waldbaulicher Einflußnahmen bedarf einer Reihe von Fragen der Klärung, z.B.: Welche Lebensbedingungen brauchen die Hauptvegetationsartengruppen, die die Verjüngung hemmen? Wie verläuft die Besiedelung des Waldbodens durch Heide, Beerkräuter und Gräser? Wie sind die Wirkungen verschiedener Düngemittel auf die Bodenvegetation im Wald? Die Beantwortung dieser Fragen ist unumgänglich, wenn die Naturverjüngung der Kiefer großflächig angestrebt wird, es aber des öfteren Bestände gibt, die keine Naturverjüngung aufweisen mit oder auch ohne bodenbedeckender Strauchschicht.

Als letztes bleibt noch die Holzentnahmetechnik, an der viele Naturverjüngungen scheitern. Gewiß gibt es viele Verbesserungsmöglichkeiten, wie den Einsatz von hydraulischen Hebekränen und Seilwinden, um trotz hoher Schirmdichte und weit fortgeschrittener Entwicklung der Verjüngung die Auflichtung oder Räumung des Bestandes durchzuführen, ohne viel Schaden an den Jungkiefern anzurichten. Die geläufigen Verfahren müssen durchdacht werden, um ihre ökologische Effektivität zu steigern.

7. Zusammenfassung

Der Kahlschlagbetrieb verbunden mit Bodenbearbeitung führt zu Nährstoffverlusten für darauf folgende Kiefernkulturen, wie in einer Ökosystemanalyse gezeigt werden konnte. Die Bodenbearbeitung beeinflusste zwar positiv Aufbau und Qualität der Kultur, doch blieb die Gesamtmassenerzeugung von Teilflächen mit und ohne Bodenbearbeitung nahezu gleich. Die Nährstoff- und Humusverluste nach dem Kahlschlag lassen sich sehr wahrscheinlich durch Umstellung auf Naturverjüngungsbetrieb weitgehend vermeiden.

In der vorgelegten Arbeit wurden Kiefern naturverjüngungen in verschiedenen Altersphasen analysiert und deren Dichte, Verteilung, Alters- und Höhenstruktur, Zuwachsleistung und Dynamik untersucht. Außerdem konnten anhand der erhobenen Daten einige Zusammenhänge zwischen der Verjüngung und dem Altholzschirm, den Bodenverhältnissen und den waldbaulichen Maßnahmen aufgezeigt werden.

Methode

Für die Untersuchung wurden 22 Kiefernbestände mit Naturverjüngung in verschiedenen Wuchsgebieten Bayerns nach den Kriterien Standort, Bestandesbehandlung und Zustand der Verjüngung untersucht und in den Jahren 1977 und 1978 aufgenommen.

Für die Aufnahmen wurden Stichprobepunkte - im ganzen 804 Stück - systematisch auf Untersuchungsflächen ausgelegt. An diesen Punkten wurde die Grundfläche des Altbestands mit dem BITTERLICH-Relaskop ermittelt und zusätzlich zur genauen Charakterisierung der Altbestände an 128 Probepunkten die Brusthöhendurchmesser, Höhen und Kronen der Altkiefern gemessen. Die Kronenmessungen erlaubten für jeden Probekreis die Berechnung der Überschirmung mit Hilfe von Regressionen.

Die Verteilung der Jungkiefern auf der Fläche wurde anhand eines Abstandsverfahrens analysiert. Nach Messung der Abstände vom

Stichprobepunkt zu den drei nächsten Pflanzen wurden Nullflächendiagramme konstruiert, mit deren Hilfe die Verteilung leicht zu beurteilen war.

Die weiteren Eigenschaften der Verjüngung wurden auf Probekreisen von im Regelfall 1m^2 Größe erhoben, deren Zentrum der jeweilige Stichprobepunkt war. In den Probekreisen wurden sämtliche Bäumchen gezählt und ihre Höhen und Durchmesser, bei Kiefern und Fichten auch das Alter, ermittelt. Zur genaueren Beurteilung der aus Naturverjüngungen stammenden Jungkiefen wurde auf jedem Probekreis die größte Pflanze entnommen und genau vermessen. An den im Jahr 1978 gewonnenen Pflanzen wurden außerdem die Nadel-, Holz- und Rindentrockenmasse bestimmt.

Der Standort jeder Fläche wurde mit Hilfe von Bodeneinschlägen beschrieben und zusätzlich in jedem Probekreis der Zustand der Bodenoberfläche und die Bodenvegetation angesprochen.

Ergebnisse

Die Verjüngungsflächen waren generell sehr dicht bestockt. Es kamen nur vereinzelt größere Lücken ohne Pflanzen vor. Als Mischbaumart hatte nur die Fichte Bedeutung, sie aber auch nur dort, wo im Altholz genügend Samenbäume belassen worden waren.

Die Verjüngungen, die sich nach sehr starken Eingriffen in die Altbestände oder durch Katastrophen (Nonnenfraß) entwickelt hatten, wiesen nur geringe Altersunterschiede zwischen den Pflanzen auf, wurden dagegen die Schirmbestände langsam aufgeleuchtet, so war die Streuung der Alter größer.

Der Höhenaufbau der Verjüngung wurde durch große Streuung der Höhen geprägt. Die Höhenzuwächse hingen vom Grad der Überschirmung ab. Die Kiefern reagierten auf die Auflichtung sehr schnell. Freigestellte Jungkiefen erreichten leicht 40 cm Jahreshöhenzuwachs und lagen damit im Bereich von Werten, wie sie auch nie beschirmte Exemplare aufwiesen.

Kiefernjungwüchse aus Naturverjüngung haben annähernd das gleiche Gewicht an oberirdischer Biomasse wie in Kiefernjungwüchsen aus Kunstverjüngung bei gleicher Höhenwuchsleistung bestimmt wurden. Unter Schirm wird meist eine geringe Biomasse je Bäumchen durch eine größere Pflanzendichte aufgewogen. Auf den freigestellten Flächen erreichen die Jungkiefern sehr schnell die Produktion, die von künstlich eingebrachten Kiefern erzeugt wird.

Die Bodenvegetation war auf den 22 aufgenommenen Flächen kein großes Hindernis für die Naturverjüngung unter Schirm. Für die Ansamung erwies sich eine Moosdecke als am günstigsten, bei Gräsern und Beerkräutern dagegen waren die Ergebnisse schlechter. Geringmächtige Streuauflagen und die Bodenverwundung begünstigte die Ansamung und das Fußfassen der Verjüngung ganz deutlich.

Folgerungen

Von den untersuchten Verjüngungen könnten die meisten als Nachfolgebestand übernommen werden. Allerdings müssen dann die Auflichtung und Nutzung des Altholzes mit Vorsicht angegangen werden. Das gilt umso mehr, als die Verjüngung sich auf vielen Flächen spontan eingefunden hatte und keine vorsorgliche Rückstruktur bestand. Ist die Verjüngung unbefriedigend, und besteht keine Aussicht auf Verbesserung durch fördernde Maßnahmen, so kann der Jungwuchs immer noch beseitigt werden und im Zuge der Endnutzung des Bestands erneut eine Verjüngung eingeleitet werden.

Wichtig für eine solche Einleitung der Verjüngung ist die Bodenverwundung und eine leichte Auflichtung, meistens reicht dazu die Entnahme des Unterstands an Mischbaumarten, meist Fichte, und einiger schlecht geformter Kiefern. Vor der Einleitung müssen die späteren Eingriffe schon geplant werden, damit nachher möglichst wenig Schaden an dem Jungwuchs angerichtet wird.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- AALTONEN, V.T. (1948): Boden und Wald, Paul Parey Berlin, 457 Seiten.
- AUFHAMMER, W. (1950): Kiefern-Naturverjüngung. Allg. Forstzeitschrift 5 (39): 405-406.
- BEERS, T.W. (1974): Vertical line sampling for regeneration surveys. In Inventory design & analysis. Proc. Works. Inventory Work Group, S.A.F.: 246-260.
- BENINDE, R. (1939): Der Wasserfaktor im Kiefern-naturverjüngungsbetrieb. Zeitschr.f.Forst- u. Jagdw. 71: 217-231.
- BENINDE, R. (1943): Die Behandlung natürlich verjüngter Kiefern unter Schirm. Dtsch. Forstwirt 25: 435-437.
- BIBELRIETHER, H. (1963): Zur Frage der Wurzelentwicklung von Kiefern auf Sand und Pseudogley. Forstw.Cbl. 82: 139-146.
- BIRTH, E.E. (1977): Horizontal line sampling in upland hardwoods. Journ. of Forestry 75 (9): 590-591.
- BITTERLICH, W. (1948): Die Winkelzählprobe. Allg. Forst- u. Holzwirt. Ztg. 59 (1/2): 4-5.
- BØRSET, O. (1976): Probleme der Naturverjüngung in den nördlichen Wäldern. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwes. 127: 165-181.
- BRECHTEL, H.M. (1962): Methodische Beiträge zur Ökologie der Überschirmung und Auflichtung einschichtiger Waldbestände. Schrift. Landesforstverw. Baden-Württemberg 14, 94 S.
- BRECHTEL, H.M. (1969): Methode zur Untersuchung der Kiefern-Naturverjüngungsfrage. Allg. Forst- u. Jagdztg. 140 (9): 193-204.
- BURSCHEL, P.; EDER, R.; REHFUESS, K.-E. u. KANTARCI, D. (1977): Waldbauliche, ökologische und bodenkundliche Untersuchungen in jungen Kiefernökosystemen (*Pinus sylvestris* L.) nach unterschiedlichen Bodenbearbeitungen. Forschungsber. Forstl. Forschungsanst. 38, 109 S.
- COX, F. (1971): Dichtebestimmung und Strukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandsmessungen. Mitt. d. BFA Nr. 87, 182 S.

- DIXON, W.J. (1975): BMDP - Biomedical Computer Programs. Univ. California Press, Los Angeles, 792 S.
- DUESBERG (1893): Wie erwachsen astreine Kiefern? Zeitschr. f. Forst- u. Jagdw. 25: 601-607.
- EDER, R. (1975): Die Entwicklung von Kiefernwaldökosystemen im Jugendstadium unter dem Einfluß von Bodenbearbeitungs- und Düngemaßnahmen auf zwei unterschiedlichen Standorten in der Oberpfalz. Diss. München, 171 S.
- ERTELD, W. (1967): Kronenkennwerte als Leistungsweiser in Kiefernjungwüchsen verschiedenen Ausgangsverbandes. Sozial. Forstw. 17: 236-240.
- FABRICIUS, L. (1927): Der Einfluß des Wurzelwettbewerbs des Schirmbestandes auf die Entwicklung des Jungwuchses. Forstw. Cgl. 49: 329-345.
- FABRICIUS, L. (1929): Neue Versuche zur Feststellung des Einflusses von Wurzelwettbewerb und Lichtentzug des Schirmstandes auf den Jungwuchs. Forstw. Cbl. 51/ 477-506.
- FRANZ, F. u. KENNEL, E. (1973): Bayerische Waldinventur 1970/71, Inventurabschnitt I: Großrauminventur, Basistabellen. Forschungsber. Forstl. Forschungsanst. Nr. 12, 344 S.
- FRICKE, K. (1904): "Licht- und Schattenholzarten", ein wissenschaftlich nicht begründetes Dogma. Cbl. f. ges. Forstwes. 30 (8/9): 315-325.
- GOTHE, H. (1956): Pflanzenzahlen und Oberhöhen in einigen charakteristischen Kiefern-Naturverjüngungen im Gräflichen Forstamt Schlitz. Allg. Forst- u. Jagdztg. 127: 228-232.
- GREIG-SMITH, P. (1964): Quantitative plant ecology. Butterworth, London, 256 S.
- GRILC, J.F. (1971): Waldbauliche Untersuchungen in Fichtendickungen an der Nordabdachung der Schweizer Alpen. Diss. Nr. 4659, ETH Zürich, 94 S.
- GROSENBAUGH, L.R. (1952): Plotless timber estimates - new, fast, easy. Journal of Forestry 50: 32-37.
- HAGNER, S. (1965): Yield of seed, choice of seed trees, and seedling establishment in experiments with natural regeneration. Stud. for. suec. Skogshogsk 27: 1-43.
- HAIG, I.T. (1931): The stocked-quadrat method of sampling reproduction stands. Journal of Forestry 29: 747-749.

- HEFTI, P. (1917): Über die natürliche Verjüngung der Föhre. Schweiz. Zeitschr. Forstwesen 68 (12):321-329.
- HEGGEMANN, H. und MEHLITZ, E. (1970): Betriebliche Erfahrungen bei der Ausnutzung und Behandlung von Kiefern naturverjüngungen als rationelles Waldbauverfahren. Sozial. Forstw. 20 (10):310-314.
- HUNZIKER, Th. (1956): Ökologische Untersuchungen über die natürliche Föhrenverjüngung im nordschweizerischen Mittelland. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw. 32 (3):84-145.
- JUNACK (1921): Soll man aufasten oder nicht? Silva 9:174.
- KENNEL, E. (1973): Bayerische Waldinventur 1970/71. Inventurabschnitt I: Großrauminventur, Aufnahme- und Auswertungsverfahren. Forschungsber. Forstl. Forschungsanst. Nr.11, 143 S.
- KER, J.W. (1954): Distribution series arising in quadrat sampling of reproduction. Journal of Forestry 52 (11):838-841.
- KERN, K.G. (1973): Zum Kiefern-Pflanzverband im Pfälzer Wald. Allg. Forstzeitschr. 28:1101-1105.
- KLEBINGAT, G. (1962): Der Einfluß der Kulturverbandsweite auf die qualitative Entwicklung der Kiefer. Archiv f. Forstw. 11 (7):877-901.
- KLEIN, E. (1964): Bemerkungen zur Kiefern naturverjüngung. Sozial. Forstw. 14:9-10.
- KNIGGE, W. und SCHULZ, H. (1966): Grundriß der Forstbenutzung. Paul Parey, Hamburg, 584 S.
- KOCH, H. (1968): Naturverjüngung im Alpenvorland. Diss. München, 213 S.
- KRÄUTER, G. (1967): Bärenthoren und Dobritz. Zwei Reviere mit besonderer Kiefern bewirtschaftung. Forstarchiv 38 (3):53-58.
- KRAMER, H. (1977): Zur Qualitätsentwicklung junger Kiefernbestände in Abhängigkeit vom Ausgangsverband. Forst- u. Holzwirt 32 (23):469-476.
- KREUTZER, K. (1961): Wurzelbildung junger Waldbäume auf Pseudogleyböden. Forstw. Cbl. 80:356-392.
- KRUTZSCH und WECK (1935): Bärenthoren 1934. Der naturgemäße Wirtschaftswald. Neumann, Neudamm, 162 S.
- KUNZ, R. (1953): Morphologische Untersuchungen in natürlichen Föhrendickungen. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. 29 (2):335-402.

- KWASNITSCHKA, K. (1972): Die Naturverjüngung von Mischbeständen im Rahmen eines weitgehend mechanisierten Forstbetriebes. Schweiz. Zeitschr. Forstw. 123 (3):160-183.
- LANG, P. (1977): Der Wald im Naturpark. Allg. Forstzeitschr. 32 (23/24):562-567.
- LEHTO, J. (1956): (Studies on the natural reproduction of Scots Pine on the upland soils of Southern Finland.) Acta For. Fennica 66 (2):1-106.
- LEHTO, J. (1969): (Studies conducted in Northern Finland on the regeneration of Scots Pine by means of the seed tree and shelterwood methods.) Commun. Inst. For. Fenn. 67 (4): 1-140.
- LEIBUNDGUT, H. (1964): Einfluß von Borstgras und Heidelbeere auf die Ansamung von Föhre und Lärche. Schweiz. Zeitschr. Forstw. 115:331-336.
- LOETSCH, F. (1973): Prüfung von Verteilungsart und Dichte der Verjüngung mit Hilfe des Nullflächendiagramms. Forsarchiv 44 (4):77-83.
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F. und HALLER, K.E. (1973): Forest Inventory, Vol. 2, BLV, München, 469 S.
- MALCOLM, D.C. (1976): Silvicultural problems in the conservation of natural Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Scotland. Ecosystems, IUFRO, XVI World Congress, Group I: 14-22.
- MAYER, H. (1961): Waldbauliche Güteansprache und morphologische Qualitätsmerkmale in Föhren-Dickungen zwischen Alpen und Donau. Forstw. Cbl. 80:294-316.
- MÖLLER, A. (1922): Der Dauerwaldgedanke. Julius Springer, Berlin, 84 S.
- MÜLLER-USING, B. (1973): Untersuchungen über Verjüngung von *Nothofagus alpina* (POEPP et ENDL) OERST und ihre wichtigsten Begleitbaumarten in der chilenischen Anden- und Küstenkordillere. Diss. München, 229 S.
- OLBERG, A. (1955): Die standörtlichen Voraussetzungen und die waldbauliche Ausnutzung der Kiefern timer Verjüngung. Forst- und Holzwirt 10 (22):451-454.
- OLBERG, A. (1957): Beiträge zum Problem der Kiefern timer Verjüngung. Schrift. Forstl. Fak. Göttingen Nr. 18, 96 S.
- OVINGTON, J.D. (1957): Dry-matter production by *Pinus sylvestris* L.. Annals of Botany 287-313.

- PRODAN, M. (1965): Holzmeßlehre. J.D. Sauerländer's, Frankfurt a.M., 644 S.
- RANGER, J. (1978): Recherches sur les biomasses comparées de deux plantations de Pin laricio de Corse avec ou sans fertilisation. Ann. Sci. Forest. 35 (2):93-115.
- RAVE, D. (1955): Betrachtungen über Kiefern naturverjüngungen. Forst- und Holzwirt 10 (8):163-165.
- REBEL, K. (1924): Waldbauliches aus Bayern. Bd. II: Föhren naturverjüngung bei Freiherrn von Pfetten-Niederarnbach. Huber, Dießen, 228 S.
- REICHSAMT FÜR WETTERDIENST (1939): Klimakunde des Deutschen Reiches. Bd. II, Berlin, 560 S.
- ROHMEDER, E. (1972): Das Saatgut in der Forstwirtschaft. Paul Parey, Hamburg, 273 S.
- ROTTMANN, F. (1966): Kiefern-Naturverjüngung, technisch unterstützt. Allg. Forstzeitschr. 21 (11/12):206-209.
- SCHMIDT, A. (1967): Der rechnerische Ausgleich von Bestandeshöhenkurven. Forstw. Cbl. 86:370-382.
- SCHOBER, R. (1975): Ertragstabellen wichtiger Baumarten. J.D. Sauerländer's, Frankfurt a.M., 154 S.
- SCHÖNENBERGER, W. (1978): Ökologie der natürlichen Verjüngung von Fichte und Bergföhre in Lawinenzügen der nördlichen Voralpen. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw. 54 (3): 215-360.
- SCHÖPF, J. (1954): Untersuchungen über Astbildung und Astreinigung der Selber Kiefer. Forstw. Cbl. 73:275-290.
- SCHREMPF, W. (1978): Analyse der Verjüngung im Fichten-Tannen-Buchen-Urwald Rothwald in Niederösterreich. Cbl.ges. Forstwesen 95 (4):217-245.
- SIEDSCHLAG, M.; SIEDSCHLAG, S. und RUPP, P. (1977): Erfahrungen bei der rationellen Jungwuchs- und Jungbestandspflege von Kiefern naturverjüngungen auf Z-Standorten. Sozial. Forstw. 27 (7):212-214.
- STEVEN, H.M. und CARLISLE, A. (1959): The native pinewoods of Scotland. Oliver and Boyd, Edinburgh, 268 S.
- TANGERMANN (1930): Kiefern kulturen unter Schirm in der Oberförsterei Freienwalde. Zeitschr. f. Forst- und Jagdw. 62: 591-624.

- UNTERDÖRFER, C. (1955): Die Bestandesstammzahl nach der Winkelzählprobe. Allg. Forst- und Jagdztg. 126 (8/9):176-179.
- VAN MIEGROET, M. (1956): Untersuchungen über den Einfluß der waldbaulichen Behandlung und der Umweltfaktoren auf den Aufbau und die morphologischen Eigenschaften von Eschendickungen im Schweizerischen Mittelland. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw. 32:229-371.
- VANSELOW, K. (1939): Alter, Zusammensetzung und Aufbau natürlicher Verjüngungen. Allg. Forst- und Jagdztg. 115:39-50.
- VOEGELI, H. (1954): Zur Frage der Föhrenverjüngung und -erziehung. Allg. Forstzeitschr. 9 (33/34,35):349-353,370-374.
- WAGENKNECHT, E. (1963): Beiträge zur Rationalisierung des Waldbaus. VI: Rationalisierungsmöglichkeiten in der Walderneuerung, insbesondere in der natürlichen Verjüngung. Sozial. Forstw. 13 (10):197-302.
- WIEBECKE, E. (1924): Der Dauerwald. Pommernblatt, Stettin, 119 S.
- WIEDEMANN, E. (1926): Die Kiefern timerverjüngung in der Umgebung von Bärenthoren. Zeitschr. f. Forst- und Jagdw. 58 (5): 269-304.
- WIEDEMANN, E. (1948): Die Kiefer 1948. M. & H. Schaper, Hannover, 337 S.
- WITTICH, W. (1955): Die standörtlichen Bedingungen für die natürliche Verjüngung der Kiefer und für ihre Erziehung unter Schirm. Allg. Forst- und Jagdztg. 126 (5/6):109-117.
- YLI-VAKKURI, P. (1961): Experimental studies on the emergence and initial development of tree seedling in Spruce and Pine stands. Acta for. Fenn. 75 (1):1-122.

A N H A N G

- I. Aufnahmeformulare
- II. Standorte: Beschreibung der Bodeneinschläge
- III. Nullflächendiagramme der aufgenommenen Jungwüchse
- IV. Verteilung der Jungkiefern nach dem Alter auf den Verjüngungsflächen
- V. Verteilung der Jungkiefern nach der Höhe auf den Verjüngungsflächen

FORMULAR	78 31	FORSTAMT	34 	ABTEILUNG	56 	VERJÜNGUNGSFLÄCHE	78 	PROBEKREIS	9 	NAME	 	DATUM	 								
PUNKT - PFLANZE - NACHBAR - ENTFERNUNG																					
KIEFER		101112 		cm		131415 		cm		161718 		cm		1° Nachbar 192021 		cm		2° Nachbar 222324 		cm	
FICHTE		252627 		cm		282930 		cm		313233 		cm		343536 		cm		373839 		cm	
STREUDECKE		40 		1- ja 2- nein		MÄCHTIGKEIT		414243 		cm		ART		 		1- Nadeln 2- Na/Moder 3- Laub 4- La/Moder 5- Moder					
BODENVEGETATION		keine		454647 		%		HÖHE		5152 		cm		(DECKUNGSPROZENT) Moose		535455 		%			
		Gräser		565758 		%				596061 		cm				626364 		cm			
		Sonst.		656667 		%				686970 		%		SONSTIGE: CALLUNA		717273 		%			
BODENoberfläche		7475 		1- natürlich 2- Feuerstelle 3- bearbeitet		Boden-Neigung		767778 		Exposition		798081 		Orographie		828384 		1- Kuppe 2- Hang 3- Tal			

FORMULAR	12 32	FORSTAMT	34 	VERJÜNGUNGSFL.	56 	PROBEKREIS	78
Pfl.Nr.	Art	Alter	D 0,1 (mm)	D 1,3 (mm)	Höhe (cm)	Länge (cm)	TKS
70	71	72	73	74	75	76	77
78	79	80	81	82	83	84	85
86	87	88	89	90	91	92	93
94	95	96	97	98	99	100	101
102	103	104	105	106	107	108	109
110	111	112	113	114	115	116	117
118	119	120	121	122	123	124	125
126	127	128	129	130	131	132	133
134	135	136	137	138	139	140	141
142	143	144	145	146	147	148	149
150	151	152	153	154	155	156	157
158	159	160	161	162	163	164	165
166	167	168	169	170	171	172	173
174	175	176	177	178	179	180	181
182	183	184	185	186	187	188	189
190	191	192	193	194	195	196	197
198	199	200	201	202	203	204	205
206	207	208	209	210	211	212	213
214	215	216	217	218	219	220	221
222	223	224	225	226	227	228	229
230	231	232	233	234	235	236	237
238	239	240	241	242	243	244	245
246	247	248	249	250	251	252	253
254	255	256	257	258	259	260	261
262	263	264	265	266	267	268	269
270	271	272	273	274	275	276	277
278	279	280	281	282	283	284	285
286	287	288	289	290	291	292	293
294	295	296	297	298	299	300	301
302	303	304	305	306	307	308	309
310	311	312	313	314	315	316	317
318	319	320	321	322	323	324	325
326	327	328	329	330	331	332	333
334	335	336	337	338	339	340	341
342	343	344	345	346	347	348	349
350	351	352	353	354	355	356	357
358	359	360	361	362	363	364	365
366	367	368	369	370	371	372	373
374	375	376	377	378	379	380	381
382	383	384	385	386	387	388	389
390	391	392	393	394	395	396	397
398	399	400	401	402	403	404	405
406	407	408	409	410	411	412	413
414	415	416	417	418	419	420	421
422	423	424	425	426	427	428	429
430	431	432	433	434	435	436	437
438	439	440	441	442	443	444	445
446	447	448	449	450	451	452	453
454	455	456	457	458	459	460	461
462	463	464	465	466	467	468	469
470	471	472	473	474	475	476	477
478	479	480	481	482	483	484	485
486	487	488	489	490	491	492	493
494	495	496	497	498	499	500	501
502	503	504	505	506	507	508	509
510	511	512	513	514	515	516	517
518	519	520	521	522	523	524	525
526	527	528	529	530	531	532	533
534	535	536	537	538	539	540	541
542	543	544	545	546	547	548	549
550	551	552	553	554	555	556	557
558	559	560	561	562	563	564	565
566	567	568	569	570	571	572	573
574	575	576	577	578	579	580	581
582	583	584	585	586	587	588	589
590	591	592	593	594	595	596	597
598	599	600	601	602	603	604	605
606	607	608	609	610	611	612	613
614	615	616	617	618	619	620	621
622	623	624	625	626	627	628	629
630	631	632	633	634	635	636	637
638	639	640	641	642	643	644	645
646	647	648	649	650	651	652	653
654	655	656	657	658	659	660	661
662	663	664	665	666	667	668	669
670	671	672	673	674	675	676	677
678	679	680	681	682	683	684	685
686	687	688	689	690	691	692	693
694	695	696	697	698	699	700	701
702	703	704	705	706	707	708	709
710	711	712	713	714	715	716	717
718	719	720	721	722	723	724	725
726	727	728	729	730	731	732	733
734	735	736	737	738	739	740	741
742	743	744	745	746	747	748	749
750	751	752	753	754	755	756	757
758	759	760	761	762	763	764	765

FORMULAR

4

DATUM / /

FORSTAMT

--	--

ABTEILUNG

NAME

VERJÜNGUNGSFLÄCHE

--	--

PROBEKREIS

--	--

KIEFER

1

ALTER

--	--

Höhe

--	--	--	--	--

D 0,1 (mm)

--	--	--	--

D 1,3 (mm)

--	--	--	--

D 1/2 (mm)

--	--	--	--

Ø st. Ast (mm)

--	--	--	--

Länge lgst. Ast (cm)

--	--	--	--

b (cm)

--	--

FICHTE

2

ALTER

--	--

Höhe

--	--	--	--	--

D 0,1 (mm)

--	--	--	--

D 1,3 (mm)

--	--	--	--

D 1/2 (mm)

--	--	--	--

Ø st. Ast (mm)

--	--	--	--

Länge lgst. Ast (cm)

--	--	--	--

b (cm)

--	--

TRIEBLÄNGEN UND ÄSTE IM QUIRL

JAHR	Trieblänge (cm)	Leb. Äste	Tote Äste	C	Serr.
40 47	42 43	44	45 46	47 48	49
7 8					
7 7					
7 6					
7 5					80
7 4					
7 3					
7 2					
7 1					
7 0					
6 9					
6 8					80
6 7					
6 6					
6 5					
6 4					
6 3					
6 2					
6 1					80
6 0					
5 9					
5 8					
5 7					
5 6					
5 5					80
5 4					
5 3					
5 2					
5 1					
5 0					
4 9					80

TRIEBLÄNGEN UND ÄSTE IM QUIRL

JAHR	Trieblänge (cm)	Leb. Äste	Tote Äste	C	Serr.
40 47	42 43	44	45 46	47 48	49
7 8					
7 7					
7 6					
7 5					80
7 4					
7 3					
7 2					
7 1					
7 0					
6 9					
6 8					80
6 7					
6 6					
6 5					
6 4					
6 3					
6 2					
6 1					80
6 0					
5 9					
5 8					
5 7					
5 6					
5 5					80
5 4					
5 3					
5 2					
5 1					
5 0					
4 9					80

WURZELTYP ☐

1-Pfal 2-Schräg
3-Flach

Anhang II : Beschreibung der Bodenprofile auf den
untersuchten Naturverjüngungsflächen

FORSTAMT BAMBERG

Abt. XV 7a¹ Bietzschlag

Vj.-Fläche 1

Bodenvegetation: *Deschampsia flexuosa*
 Calluna vulgaris
 Dichranum scoparium (L.) HEDW.

Streuauflage: Kiefernnaedeln

Humusauflage: 5-7 cm, schwarz, organische Strukturen
 nicht mehr erkennbar.
 Moder

Horizonte:

A _{eh}	0- 4 cm	hellgrau - schwärzlich, nahezu lehmfreier mittelkörniger Sand.
B _s	4- 8 cm	nicht stark entwickelt, unregelmäßig, dun- kelrostbraun.
B _(h)	8- 40 cm	hellbrauner schwachlehmiger Sand, örtlich dunkelgrau/rot. Stark durchwurzelt.
C	40-120 cm	hellgrau - brauner, schwach steiniger, mittelkörniger Sand, durchwurzelt. Im Profil eine alte Pfahlwurzel bis zur Sohle.

Bodentyp: schwach entwickelter Podsol.

Frische: mäßig frisch bis mäßig trocken.

Geologie: Quartärsande.

FORSTAMT BAMBERG

Abt. XIII 2b Oberjägermeister

Vj.-Fläche 2

Vermutlich oberbodengestört durch Bodenbearbeitung.

Bodenvegetation: *Vaccinium myrtillus*
Vaccinium vitis-idaea
Calluna vulgaris
Polytrichum formosum

Streuauflage: Buchenblätter und Kiefernadeln.

Humusauflage: 5-15 cm stark mit blanken Quarzkörnern durchmischte Humusauflage. Organisches Material, größtenteils zersetzt. Strukturen vielfach nicht mehr erkennbar im unteren Teil.
Moder.

Horizonte:

A_{eh} 0- 40 cm

hellgrau - schwarzfleckig über die ganze Breite. Fast lehmfreier, ziemlich grober Sand, stark durchwurzelt. Im oberen Bereich vermutlich alte Umlagerungen durch Bodenbearbeitung.

B_{vhs} 40- 75 cm

rostbraun, dunkelbraun und hellgrau marmoriert. Örtlich fest, fast lehmfreier, ziemlich grober Sand. Mäßig bis schwach durchwurzelt.

C 75-120 cm

hellgrauer, örtlich braunstreifiger oder rostig gefärbter, nahezu lehmfreier, örtlich schwach toniger, ziemlich grober Sand, mäßig durchwurzelt.

Bodentyp: mittelentwickelter Podsol.

Frische: mäßig trocken.

Geologie: Quartärsande.

FORSTAMT BAMBERG

Abt. XV 12b⁰ Dürreschlag

Vj.-Fläche 3

Bodenvegetation:	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> <i>Vaccinium myrtillus</i> <i>Deschampsia flexuosa</i> <i>Polytrichum formosum</i> <i>Cladonia</i>
Streuauflage:	Kiefernнадeln
Humusauflage:	2 cm festverbackene Kiefernнадelstreu, mit gelbem Pilzmycel durchsetzt. 2-3 cm Humusstoffschicht dunkelbraun, Strukturen noch vereinzelt erkennbar. Moderartiger Rohhumus.
Horizonte:	
A _{he} 0- 7 cm	unregelmäßig in der Mächtigkeit (örtlich bis 12 cm), grauschwarz, fleckig, nahezu lehmfreier mittelkörniger Sand.
B _v 7- 30 cm	schwach hellbraun, nahezu lehmfreier, mit- telkörniger Sand, stark durchwurzelt.
C 30-120 cm	nahezu lehmfreier mittelkörniger Sand, braunrötlich, gut durchwurzelt.
Bodentyp:	schwach podsolierte, mäßig entwickelte Braunerde aus Dünensand.
Frische:	mäßig trocken bis trocken
Geologie:	Quartärsande

FORSTAMT PEGNITZ

Abt. III 4b¹ Ortfelsen

Vj.-Fläche 1

Bodenvegetation:	<i>Vaccinium myrtillus</i> <i>Vaccinium vitis-idaea</i> <i>Caluna vulgaris</i>
Streuauflage:	Kiefernadeln, unzersetzt
Humusauflage	Verbackene Kiefernstreu, die nach unten an Zersetzung zunimmt, aber immer klare Strukturen erkennen läßt. Rohhumus.
Horizonte:	
A _{he} 0- 4 cm	grauschwärzlich
A _e 4- 30 cm	hellgrau, stark durchwurzelt, mittelkörniger Sand mit Grobsandanteil.
B _{hs} 30- 32 cm	dunkel rostfarbener, mittelkörniger Sand, örtlich schwach erkennbar.
B 32- 50 cm	gelbbrauner Grobsand, schwach lehmig, mäßig durchwurzelt. Gegen die obere Kante zu höherer Lehmanteil.
C ₁ 50- 80 cm	hellbrauner, schwach lehmiger Feinsand, schwach durchwurzelt, ohne scharfe Abgrenzung übergehend in ...
C ₂ 80-120 cm	... ganz schwach lehmigen, braun-gräulich streifigen Feinsand. Vereinzelt durchwurzelt.
Bodentyp:	mittelmäßig entwickelter Podsol
Frische:	mäßig trocken bis mäßig frisch
Geologie:	Oberturon und Auerbacher Kellersandstein.

FORSTAMT PEGNITZ

Abt. IX 6 c⁰ Teufelsstuhl

Vj.-Fläche 2

Bodenvegetation:	Vaccinium myrtillus Vaccinium vitis-idaea Deschampsia flexuosa	
Streuauflage:	Kiefern- und Fichtennadeln, unzersetzt	
Humusauflage:	moderartiger Rohhumus.	
Horizonte:		
A _h	0- 2 cm	schwärzlich grau.
A _e	2- 5 cm	graubräunlich.
B ₁	5- 50 cm	ziemlich gleichmäßig starker, kräftig brauner lehmiger mittelgrober Sand, schwach steinig, stark durchwurzelt.
B ₂	50- 65 cm	mächtiger gebleichter Horizont, aus gleichem Material wie B ₁ , mit zahlreichen schwachen Konkretionen ¹ (schwarz-braun), schwach grau-bräunlich, sehr schwach durchwurzelt.
C	65-110 cm	dunkelbrauner steiniger, stark lehmiger Ton, stark steinig, vielfach graufleckig, schwach durchwurzelt.
Bodentyp:	schwach podsolige Braunerde, im Untergrund schwach pseudovergleyt.	
Frische:	mäßig frisch.	
Geologie:	periglazial vertragenes Material aus Kreideresten.	

FORSTAMT PEGNITZ

Abt. III 17 a⁰ Barthelsweiher

Vj.-Fläche 3 und 4

Bodenvegetation:	Vaccinium vitis-idaea Vaccinium myrtillus Calluna vulgaris
Streuauflage:	Kiefernadeln
Humusauflage:	bis 4 cm mächtig, zunächst fest verbackene, in Zersetzung begriffene Nadelstreu, übergehend in stärker zersetzte, mit Humusstoffen angereicherte Auflage, Strukturen immer erkennbar. Moderartiger Rohhumus.
Horizonte:	
A _{he} 0- 2 cm	schwach entwickelt, grauschwärzlich.
A _e 2- 10 cm	(örtlich bis 25 cm) hellgrauer, örtlich braungrauer mittelkörniger Sand, schwach steinig (bis 5 mm Ø), gut durchwurzelt.
B _{hs}	(nicht als durchgehender Horizont)
B 10- 45 cm	schwach lehmiger, mittelkörniger Sand, gelbbraun, vereinzelt mit kleinen Quarzkieseln, stark durchwurzelt.
C 45-120 cm	nur ganz schwach lehmiger mittelkörniger Sand mit einzelnen kleinen Quarzkieseln. Hellbraun mit gelblichen Flecken. Gegen die Profilsohle hin rostfarben - hellgrau gebändert. In der Profilsohle sandsteinähnliches Substrat.
Bodentyp:	schwacher Podsol bis podsoliierte Braunerde
Frische:	mäßig trocken bis mäßig frisch
Geologie:	Oberturon

FORSTAMT PEGNITZ

Abt. IX 1 a⁰ Schindelrangen

Vj.-Fläche 5

Bodenvegetation:	Vaccinium myrtillus Vaccinium vitis-idaea Calluna vulgaris
Streuauflage:	Kiefernadeln, unzersetzt
Humusauflage:	ganz schwach ausgebildeter Rohhumus.
Horizonte:	
A _h	schwach ausgebildet
A _{eh} 0- 20 cm	in der oberen Hälfte dunkelgrauer, nach unten heller werdend mittelkörniger lehmfreier Sand, schwach durchwurzelt.
B 20- 40 cm	mittelbrauner stark steiniger lehmiger mittelgrober Sand, stark durchwurzelt. An der Oberkannte örtlich stärker mit Auschwemmungsmaterial von A _{eh} angereichert.
C ₁ 40- 75 cm	stark steiniger, schwach lehmiger meist grober Sand, gelbbraun, mäßig durchwurzelt.
C ₂ 75-110 cm	schluffiger Feinsand, hellgrau-rostbraun marmoriert, vereinzelt durchwurzelt.
Bodentyp:	stark podsolierte Braunerde am Hang, die oft in ein stark ausgeprägten Podsol übergeht.
Frische:	mäßig trocken bis mäßig frisch.
Geologie:	periglazial vertragenes Material aus Kreideresten.

FORSTAMT PEGNITZ

Abt. I 1 b¹ Schafruhe

Vj.-Fläche 6

Bodenvegetation:	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> <i>Vaccinium myrtillus</i> <i>Deschampsia flexuosa</i> <i>Polytrichum formosum</i>
Streuauflage:	Kiefernнадeln
Humusauflage:	bis 3 cm teils zersetzt, mit Humusstoffen angereichert, gegen den Mineralboden hin Strukturen nur noch vereinzelt erkennbar. Moder.
Horizonte:	
A _{h(e)} 0- 3 cm	grauschwärzlich
B _{v(g)} 3- 45 cm	hellbrauner bis örtlich hellbraun-graustichiger, schwach lehmiger mittelkörniger Sand, in der unteren Hälfte mit schwachen rotbraunen Konkretionen, gut durchwurzelt.
C 45-120 cm	rostbraun-graustreifiger sandiger Ton. Im unteren Bereich toniger Sand. Schwach bis mäßig durchwurzelt. ✓
Bodentyp:	schwach podsolierte Pseudogley-Braunerde.
Frische:	mäßig frisch, periodisch schwach wechselfeucht.
Geologie:	Malm

FORSTAMT SELB

Abteilung X 4c⁰ Sandbrunnen

Vj.-Fläche 1

Bodenvegetation: *Vaccinium vitis-idaea*
Vaccinium myrtillus
Erica carnea
Deschampsia flexuosa

Streuauflage: verbackene Kiefernadeln.

Humusauflage: 4-5 cm mächtige, stark mit Pilzmyzel verfilzte Humusschicht. Strukturen teilweise noch erkennbar.
Rohhumusartiger Moder.

Horizonte:

A _{h(e)}	0- 3 cm	braunschwärzlich, örtlich hellgrau
B _{v1}	3- 50 cm	kräftiger brauner, steiniger, grusiger Lehm, stark durchwurzelt.
B _{v2}	50- 90 cm	gelblich-braun-gräulicher, schwach lehmiger angewitterter Granit, stark durchwurzelt.
C	90-120 cm	an der Profilsohle in anstehenden, ganz schwach angewitterten Granit übergehend, stark durchwurzelt. Großer Granitblock im Profil.

Bodentyp: Mittelgründige Braunerde aus Aplit-Granit.

Frische: mäßig trocken bis mäßig frisch.

Geologie: Aplit-Granit

FORSTAMT SELB

Abteilung XI 8c¹ Hutrangen

Vj.-Fläche 2

Bodenvegetation: *Vaccinium vitis-idaea*
Vaccinium myrtillus
Deschampsia flexuosa

Streuauflage: fest verbackener Gras- und Kiefernнадelfilz.

Humusauflage: 5-15 cm mächtig mit z.T. noch erkennbaren
Strukturen.
Moder.

Horizonte:

A_h/B_{vi}	0- 30(50)cm	hellgrauer, grusig sandiger Lehm, sehr stark steinig (bis kopfgroße Steine), mit zahlreichen Wurzeln.
B_{v2}/C	50-120 cm	gesteinsfarbener, örtlich hellbrauner Granitzersatz in Gemengelage mit unverwittertem Granit.

Bodentyp: schwach entwickelte Braunerde am Hang.

Frische: mäßig hangfrisch

Geologie: Aplit-Granit

FORSTAMT SELB
Abteilung X 3a⁷ Lause
Vj.-Fläche 3

Bodenvegetation:	Vaccinium vitis-idaea Vaccinium myrtillus Erica carnea Polytrichum formosum Deschampsia flexuosa
Streuauflage:	Fichten- und Kiefernadeln.
Humusauflage:	5-8 cm mächtig, Strukturen nur z.T. noch erkennbar. Moder.
Horizonte:	
A _h 0- 3 cm	braunschwärzlich
B _{v1} 3- 50 cm	brauner, steinig-grusiger Lehm mit einzel- nen großen Steinen, stark durchwurzelt.
B _{v2} 50- 90 cm	stark steiniger, nicht so kräftig brauner grusiger Lehm mit starkem Anteil an Ausgangs- material. Schwach durchwurzelt.
C ab 90 cm	anstehender Granit in Gemengelage mit vorher beschriebenem grusigen Lehm.
Bodentyp:	Braunerde aus Aplit-Granit, mittelgründig.
Frische:	mäßig trocken bis mäßig frisch.
Geologie:	Aplit-Granit

FORSTAMT SELB

Abt. XII 7b Buchenbühl

Vj.-Fläche 4

Bodenvegetation: *Deschampsia flexuosa*
 Vaccinium myrtillus
 Epilobium

Streuauflage: Gras- und Kiefernadelstreu

Humusaufilage: 5-6 cm mächtig mit nur noch vereinzelt
 erkennbaren Strukturen.
 Moder

Horizonte:

A _h	0- 5(3) cm	gut ausgeprägt, braunschwärzlich
B _{v1}	5-40 cm	steinig grusiger Lehm, kräftig braun, stark durchwurzelt
B _{v2}	40-70 cm	graubräunlicher angewitterter Granit, örtlich schwach lehmig, schwach durch- wurzelt
C ₁	ab 70 cm	in zersetzenden Granit übergehend

Bodentyp: mittelgründige Braunerde aus Aplit-Granit

Frische: mäßig trocken (bis mäßig frisch)

Geologie: Aplit-Granit

FORSTAMT BURGLENGENFELD

Abt. VIII. 7b⁰ Degelgräben

Vj.-Fläche 1

Bodenvegetation:	Calluna vulgaris Vaccinium myrtillus Vaccinium vitis-idaea
Streuauflage:	Kiefernadelstreu
Humusauflage:	2-4 cm mächtig, schwarze, teilweise zersetzte organische Substanz. Moder
Horizonte:	
A _h 0-	schwarz-braun
A _{eh} - 3 cm	grau schwarz
B _v 3- 60 cm	kräftig brauner, mittelgrober, schwach lehmiger Sand (0,2-0,6 mm), stark durchwurzelt mit zahlreichen schwarzen Punkten (Kohle).
B _g 60-100 cm	graubrauner, mittelgrober Sand mit schwach tonigen Einschlüssen. Schwache Vergleyung mit einzelnen kleinen und großen Quarzsteinen, schwach durchwurzelt, oben einige schwarze Konkretionen.
C 100-	ockerfarbener, gelbbrauner bis örtlich kräftig brauner Ton, schwach sandig.
Bodentyp:	Braunerde-Pseudogley
Geologie:	Tertiärsande

FORSTAMT BURGLENGENFELD

Abt. VII 7a⁰ Dreieinigkeitt

Vj.-Fläche 2

Bodenvegetation:	<i>Vaccinium myrtillus</i> <i>Vaccinium vitis-idaea</i> <i>Calluna vulgaris</i> <i>Polytrichum formosum</i>
Streuauflage:	Kiefernadelstreu
Humusauflage:	3-4 cm mächtig, teils zersetzte, teils un- zersetzte schwarze Humusauflage. Moder
Horizonte:	
A _{eh} 0- 5 cm	hellgrau bis grau-schwärzlich
B _v 5- 40 cm	hellbrauner mittelkörniger Sand, schwach lehmig, stark durchwurzelt, mit größeren Quarzkörnern (5 mm).
B _g 40- 70 cm	hellgrauer bis graubrauner mittelkörniger Sand, teilweise in Gemengelage mit stark tonigem, steinigem Sand bzw. Ton, mittel- braun mit größeren Quarzkörnern bis 4 cm, mit einzelnen schwachen Konkretionen. Schwach durchwurzelt.
C 70 -	Sandiger Ton bis toniger Sand, gesteinsfüh- rend, hellgrauer Kalksandstein mit teilweise honiggelbem feinerem Sand, einzelne Wurzeln.
Bodentyp:	Braunerde-Pseudogley
Frische:	mäßig trocken, periodisch schwach wechsel- feucht im Unterboden.
Geologie:	Kreidesande

FORSTAMT MITTERTEICH

Abt. XVIII 8 b⁰ Grillrangen

Vj.-Fläche 1

Bodenvegetation:	Deschampsia flexuosa Calamagrostis epigeios Vaccinium myrtillus Vaccinium vitis-idaea Luzula pilosa Erica carnea
Streuauflage:	Kiefernadelstreu
Humusauflage:	3 cm fest verbackene, in Zersetzung befindliche Nadelstreu. 2-3 cm Humusstoffauflage mit einzelnen noch erkennbaren Strukturen von Kiefernadeln. Rohhumusartiger Moder
Horizonte:	
A _h 0- 2 cm	schwach gebildeter aber erkennbarer A _h . braungrau, vermutlich Oberbodenstörung durch Bodenbearbeitung.
B _v 2- 35 cm	steiniger (kleine Steine bis 5 cm), braungrau, schwach toniger Lehm, in der unteren Hälfte mit schwachen braunen Konkretionen, stark durchwurzelt.
C 35-120 cm	braungraustreifiger und graufleckiger steiniger (bis 1 cm) Ton. Im Übergangsbereich zum B _v mit zahlreichen braunen Konkretionen. Bis 1 _m Tiefe durchwurzelt.
Bodentyp:	schwach pseudovergleyt Braunerde-Pelosol
Frische:	mäßig frisch
Geologie:	Granitverwitterung

FORSTAMT MITTERTEICH

Abt. SVI 12 c⁰ Brandbüsche

Vj.-Fläche 2

Bodenvegetation:	Vaccinium myrtillus Vaccinium vitis-idaea Deschampsia flexuosa Sphagnum
Streuauflage:	Kiefernadeln verfilzt, 10 cm verrottende Sphagnumschicht.
Humusauflage:	3-4 cm mächtige Humusauflage mit größtenteils noch erkennbaren Strukturen. Moder
Horizonte:	
A _h 0- 3 cm	grauschwärzlich
B _g 3- 15 cm	graubraun sandiger Lehm mit zahlreichen Konkretionen, stark durchwurzelt.
B _t 15- 35 cm	nicht überall vorhanden. Toniger Lehm, gelb- braun, schwach steinig, stark durchwurzelt.
C 35-120 cm	hellgrauer, braunfleckiger, sandiger Ton (toniger Sand). Schwach durchwurzelt.
Bodentyp:	Parabraunerde-Pseudogley
Frische:	mäßig frisch, periodisch wechselfeucht
Geologie:	Tertiär

FORSTAMT WALDSASSEN

Abt. VII 3a⁰ Herrgottshau

Vj.-Fläche 1

Bodenvegetation:	Calluna vulgaris Vaccinium myrtillus Vaccinium vitis-idaea Polytrichum formosum
Streuauflage:	2 cm, Kiefernadelstreu mit Vaccinium-Blättern.
Humusauflage:	3-5 cm, stark zersetztes, nicht erkennbares Humusmaterial mit Pilzmycel durchsetzt. Rohhumusartiger Moder.
Horizonte:	
A _h 0- 3 cm	braun-schwärzlich
B _v 3- 55 cm	hellbraun-rötlicher, stark steiniger toniger Lehm bis lehmiger Ton, nach unten hin toni- ger werdend. Stark durchwurzelt.
C 55-120 cm	dunkelbraun-roter, stark steiniger Ton, schwach durchwurzelt.
Bodentyp:	Braunerde
Frische:	mäßig frisch
Geologie:	Schieferzersatz

FORSTAMT WALDSASSEN

Abt. XV 2d⁰ Schmidteich

Vj.-Fläche 2

Bodenvegetation:	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> <i>Vaccinium martillus</i> <i>Deschampsia flexuosa</i> <i>Pteridium aquilinum</i>
Streuauflage:	Kiefernnadeln
Humusauflage:	3-5 cm stark mit Pilzmycel durchsetzte Rohhumusauflage mit vereinzelt erkennbaren Strukturen.
Horizonte:	
A _h 0- 5 cm	schwach ausgeprägt, braunschwärzlich
B _v 5-40 cm	teils schwach toniger Lehm, hellbraun, im unteren Teil teilweise braunrot, steinig, stark durchwurzelt.
C 40-80 cm	rotbrauner lehmiger Ton, steinig (bis faustgroße Steine). In der Übergangszone zu B noch durchwurzelt.
Bodentyp:	mäßig entwickelte Braunerde
Frische:	mäßig frisch.
Geologie:	Phyllitzersatz

FORSTAMT PFREIMD

Abt. Nabburg I 2

Vj.-Fläche 1

Bodenvegetation:	Vaccinium myrtillus Vaccinium vitis-idaea Calluna vulgaris Deschampsia flexuosa Polytrichum formosum
Streuauflage:	1 cm, Kiefernadeln, leicht zersetzt.
Humusaufilage:	2-4 cm mächtig, organisches Material teilweise erkennbar. Moder.
Horizonte:	
A _h 0- 1 cm	grauschwarz
B _v 1- 30 cm	dunkelrot-brauner, schwach sandiger, schwach steiniger Ton, stark durchwurzelt, Konkretionen in der Übergangszone zu C.
C 30-120 cm	blaugrauer, braungesprenkelter Ton, schwach steinig, teilweise mit Grobsand.
Bodentyp:	Braunerde-Pelosol
Frische:	hangfrisch
Geologie:	Granit

FORSTAMT AMBERG

Abt. VI 1b⁰ Ratschlag

Vj.-Fläche 1

Bodenvegetation:	<i>Vaccinium myrtillus</i> <i>Luzula pilosa</i>
Streuauflage:	1-2 cm Kiefernadeln, unzersetzt
Humusauflage:	3 cm verbackene organische Materialien noch gut erkennbar. 1-2 cm Humusschicht. Organisches überwie- gend nicht mehr erkennbar. Rohhumusartiger Moder.
Horizonte:	
A _h 0- 1 cm	
B _v 1- 45 cm	stark steiniger Lehm, braun, stark durch- wurzelt.
C 45-120 cm	dunkelbrauner bis rotbrauner schwach lehmiger Ton, stark steinig. Im Grenzbereich zum Lehm noch durchwurzelt.
Bodentyp:	Braunerde
Frische:	mäßig frisch
Geologie:	Jura mit Kreide

FORSTAMT ERLANGEN

Abt. V 9 b⁴ Tiegelthonlöcher

Vj.-Fläche 1

Oberboden durch Bodenbearbeitung gestört.

Bodenvegetation: *Calluna vulgaris*
Vaccinium myrtillus
Deschampsia flexuosa

Streuauflage: Kiefernadeln.

Humusauflage: 1-5 cm. Struktur größtenteils nicht mehr
erkennbar. Wo stark genug ausgebildet
Moder.

Horizonte:

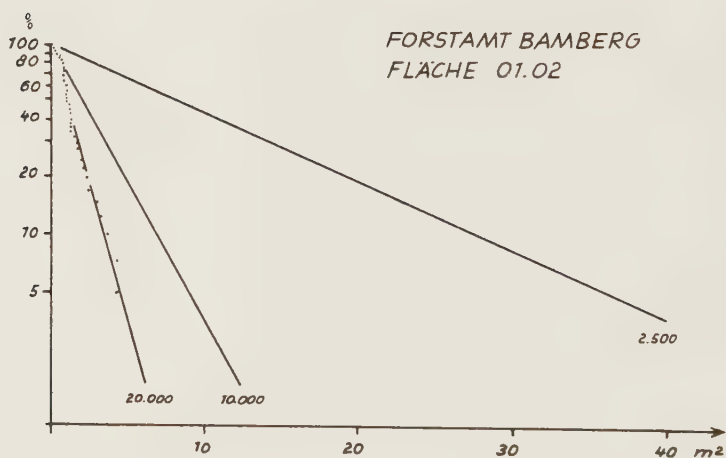
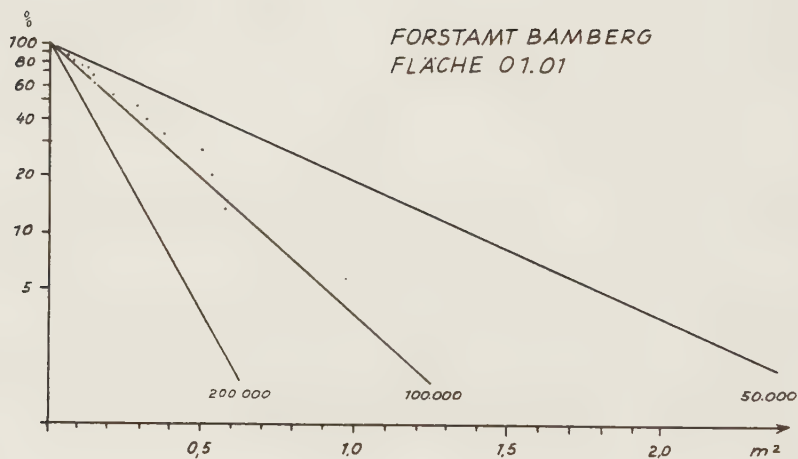
A _{h(e)}	0- 10 cm	(örtlich bis 20 cm) dunkelbraun, schwarz- fleckig und örtlich grau bis hellgrau (vermutlich eingearbeitete Schicht). Leh- miger, im allgemeinen grober Sand, schwach steinig (bis zu 4 cm). Stark durchwurzelt.
B _v	10- 40 cm	lehmiger, kräftig brauner, grober Sand, schwach steinig. Einzelne große Sandsteine.
C ₁	40- 80 cm	Sandsteinlage aus losen Steinen mit dazwi- schen liegendem lehmig-tonigem, grobem Sand, dunkelrotbraun, durchwurzelt.
C ₂	80-120 cm	hellbraun und rostfarbener, festverbackener grob Sand mit einer 2-4 cm mächtigen Sand- steinzwischenlage. Schwach durchwurzelt.

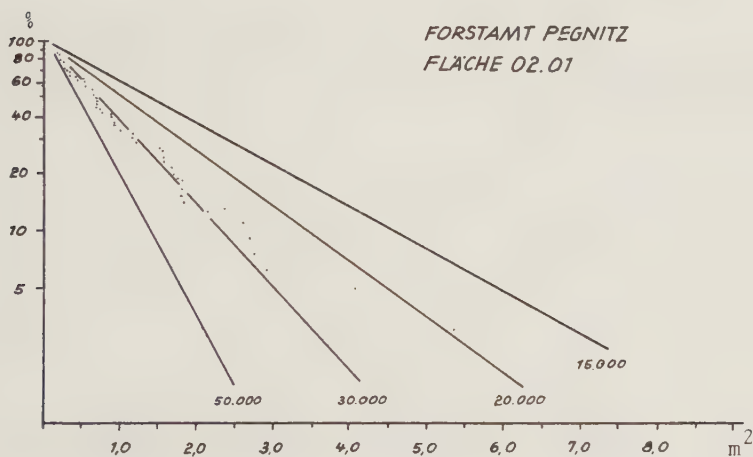
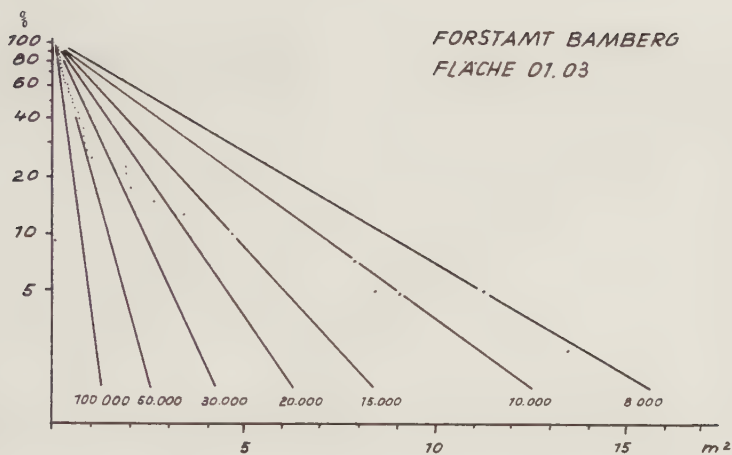
Bodentyp: podsolige Braunerde.

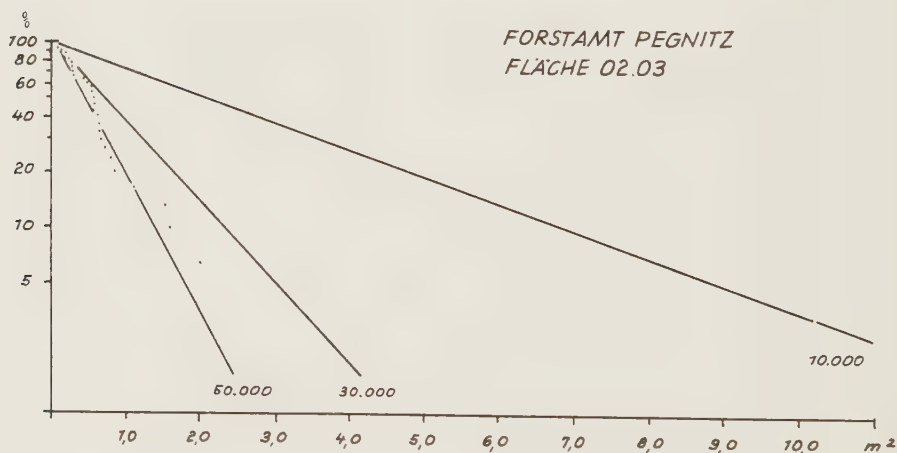
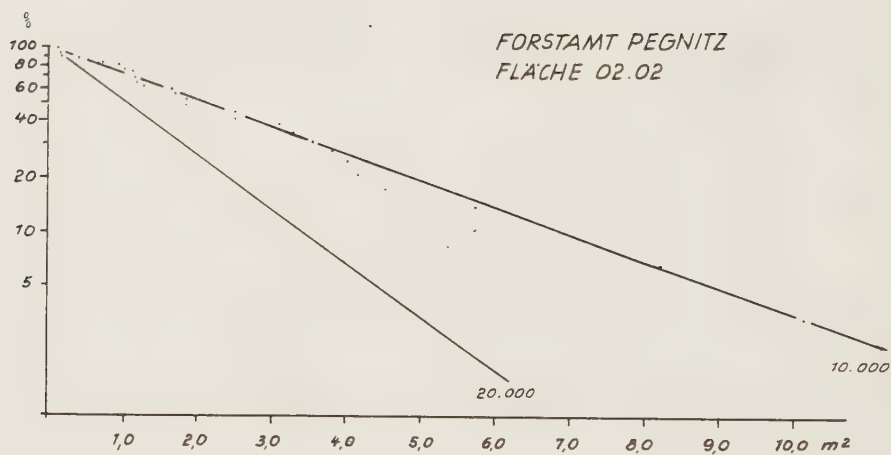
Frische: mäßig frisch

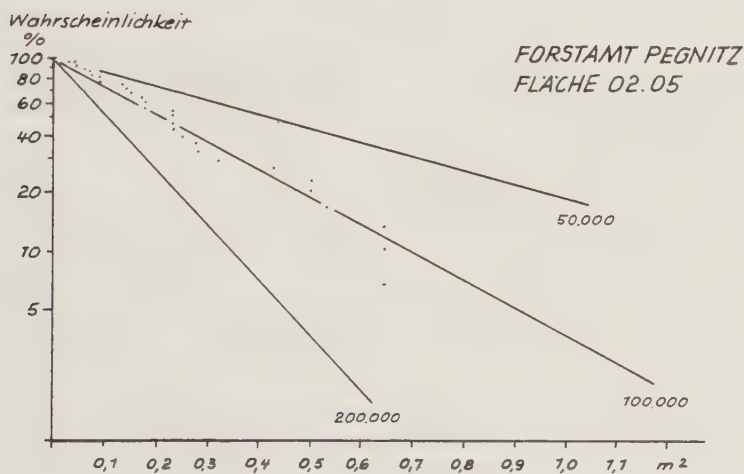
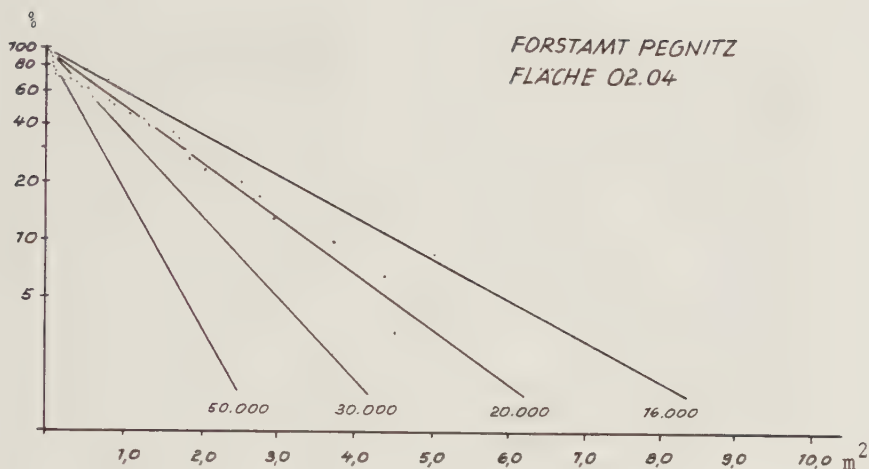
Geologie: Lias

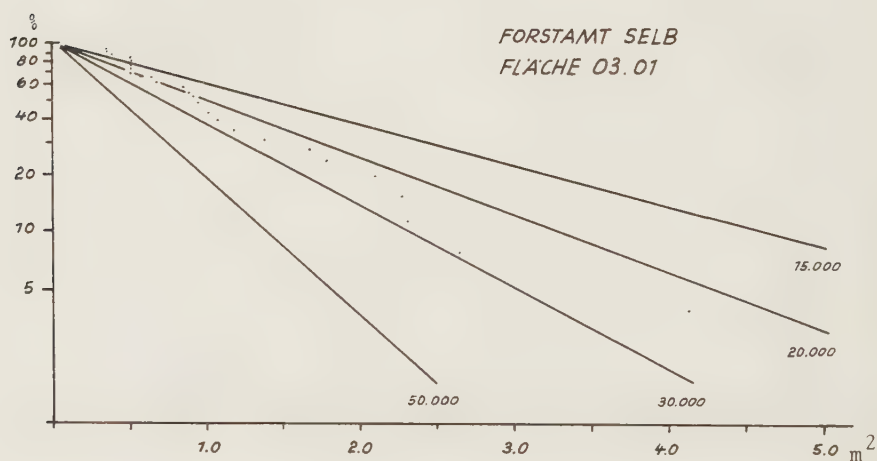
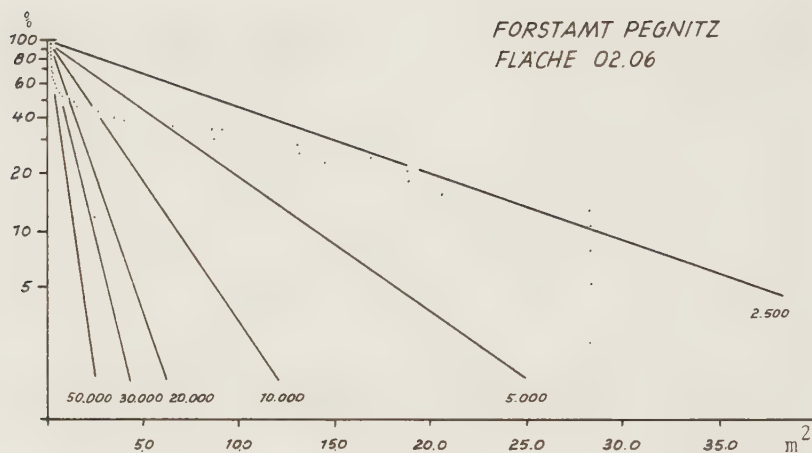
Anhang III: Nullflächendiagramme der aufgenommenen Jungwüchse. Die Geraden in den Diagrammen repräsentieren Populationen mit angegebener Dichte und einer Poisson-Struktur.

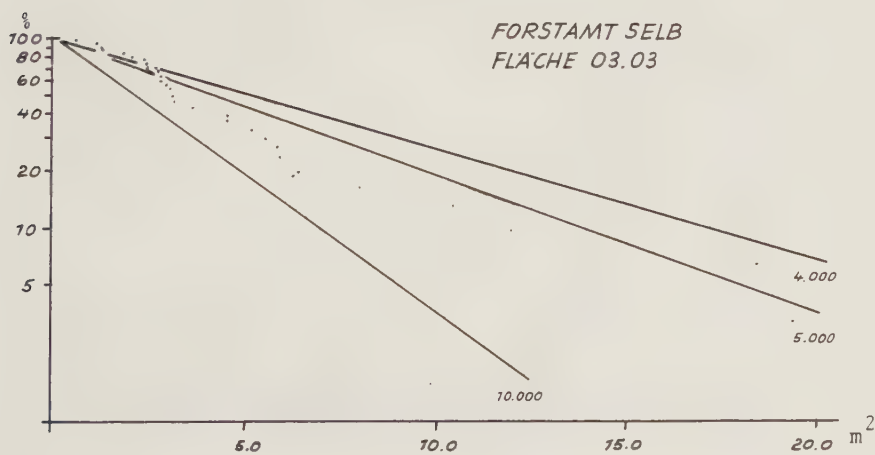
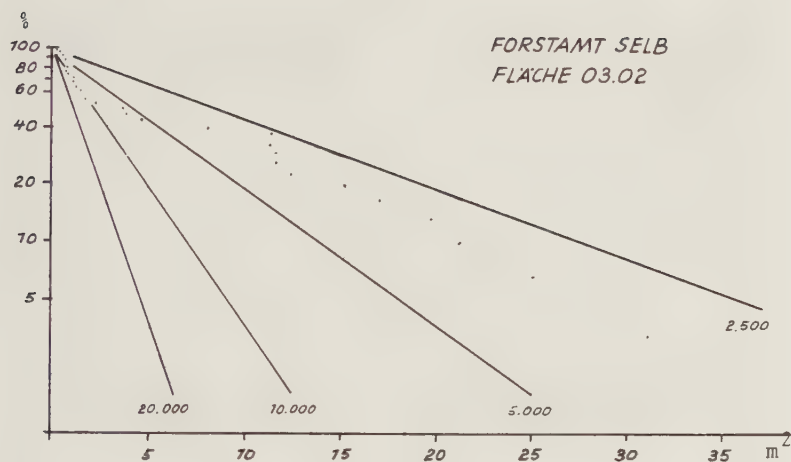


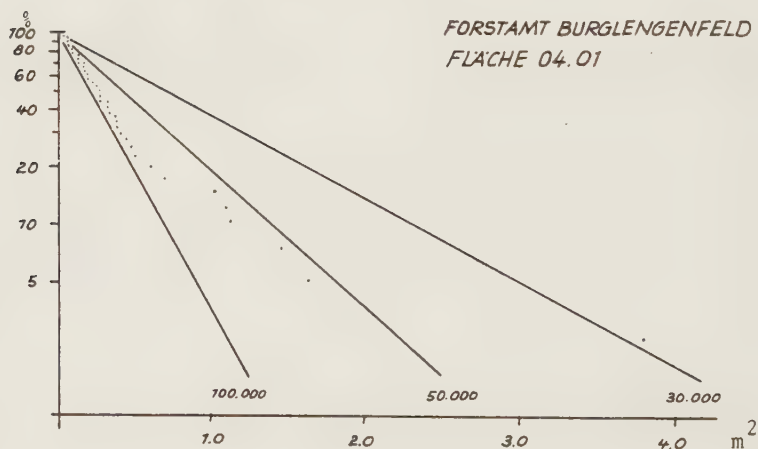
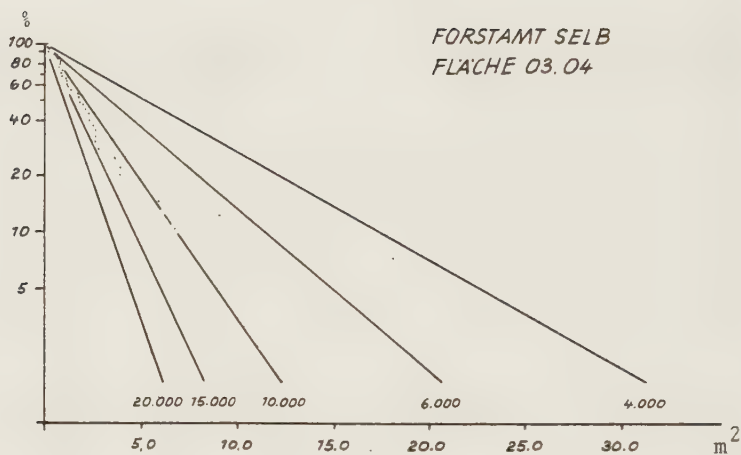


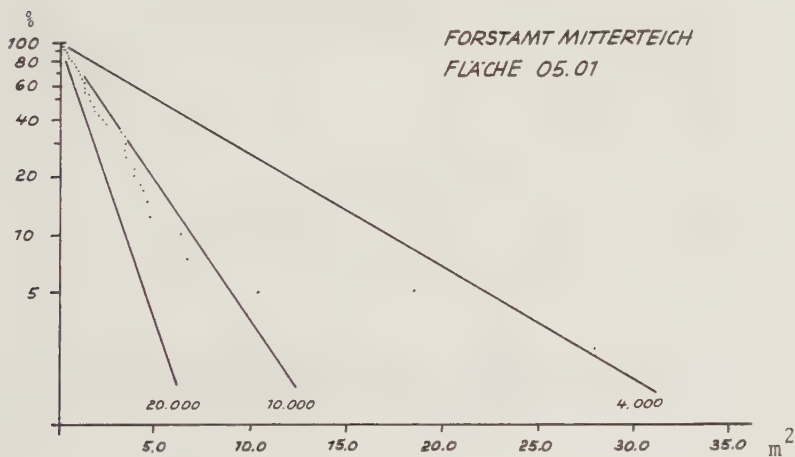
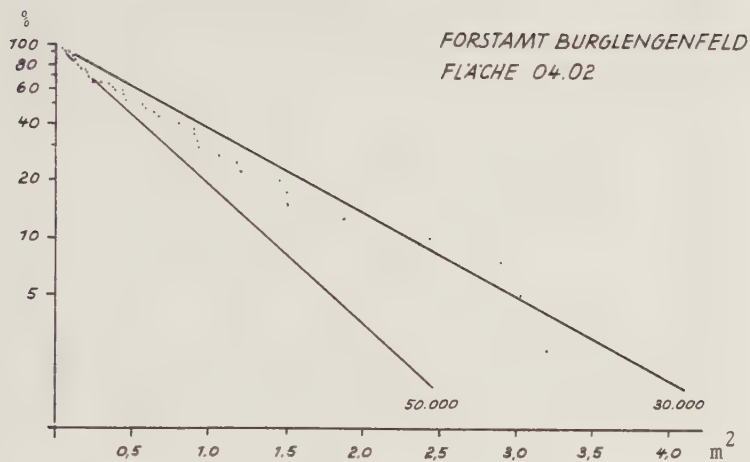


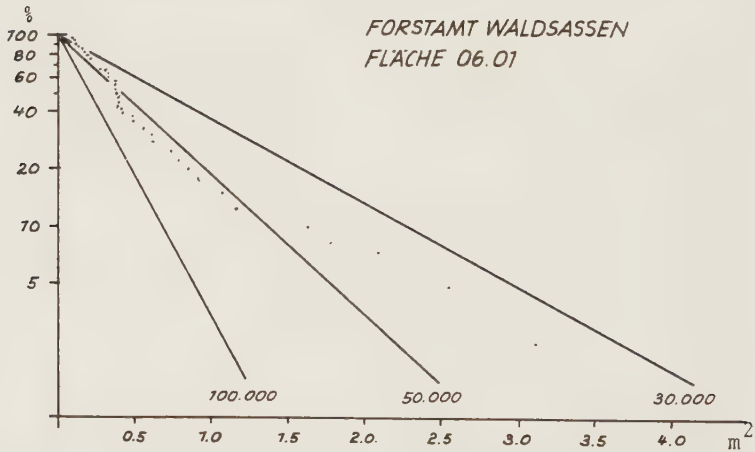
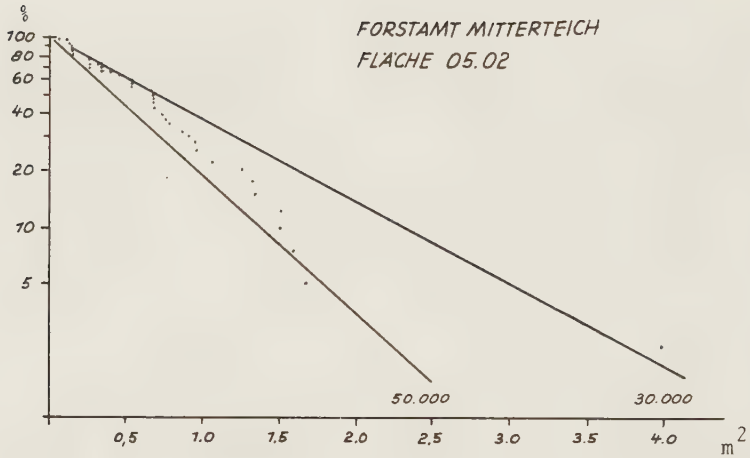


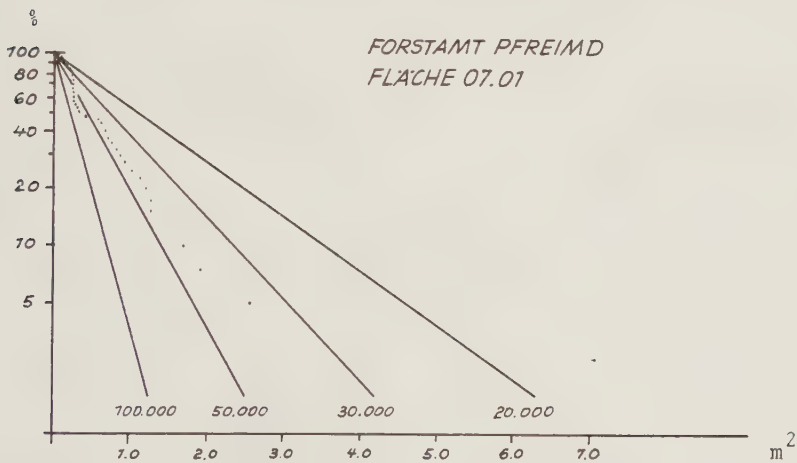
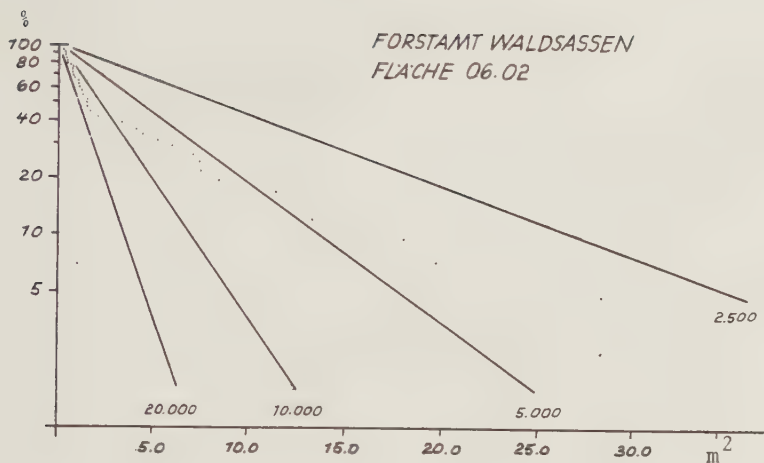


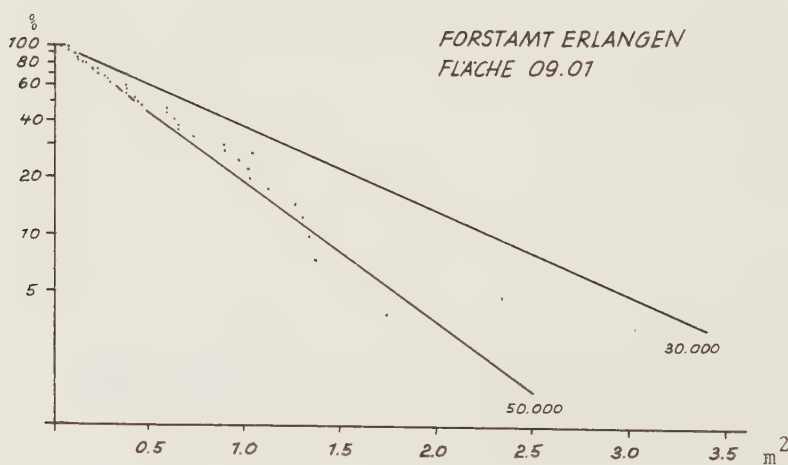
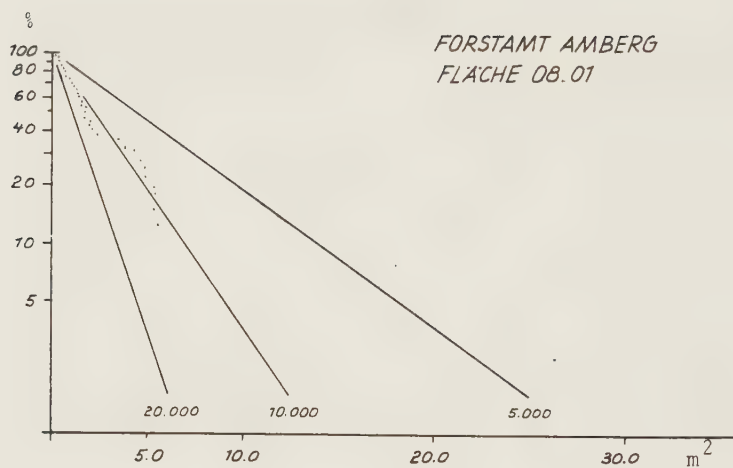










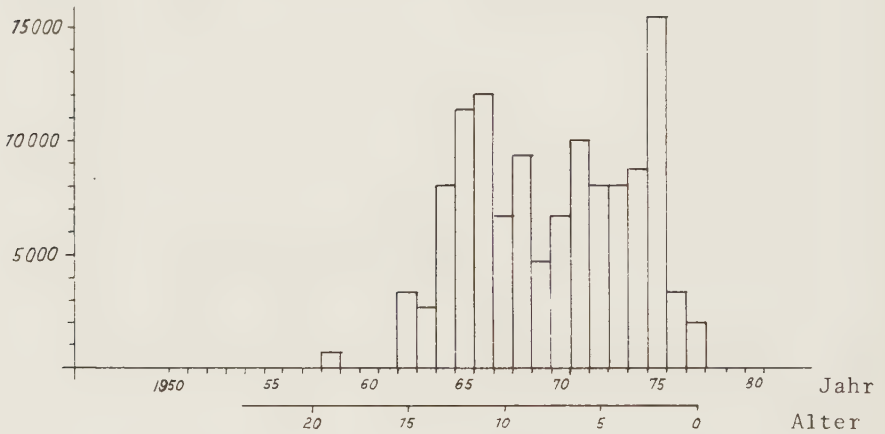


Anhang IV: Verteilung der Jungkiefen nach dem
Alter auf den Verjüngungsflächen

FORSTAMT BAMBERG

Fläche 01

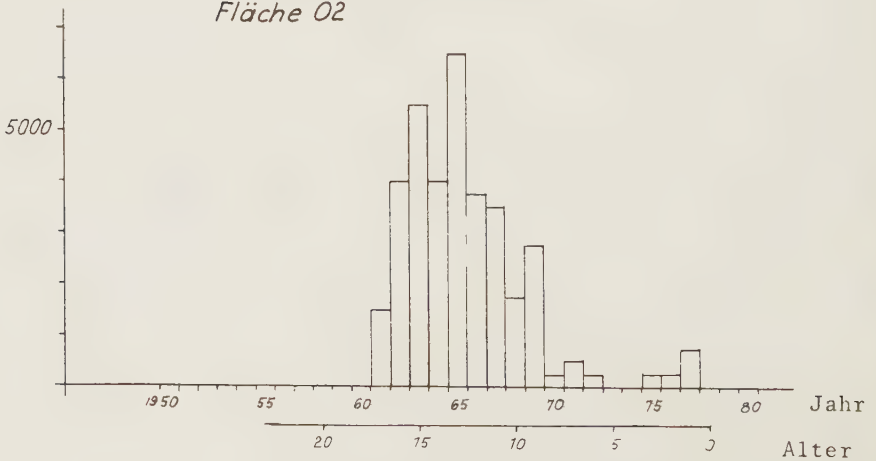
Stck/ha



FORSTAMT BAMBERG

Fläche 02

Stck/ha



Stck/ha

FORSTAMT BAMBERG

Fläche 03

10000

5000



Stck/ha

FORSTAMT PEGNITZ

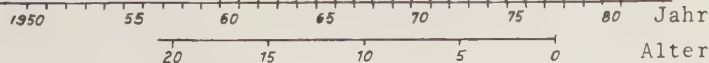
Fläche 01

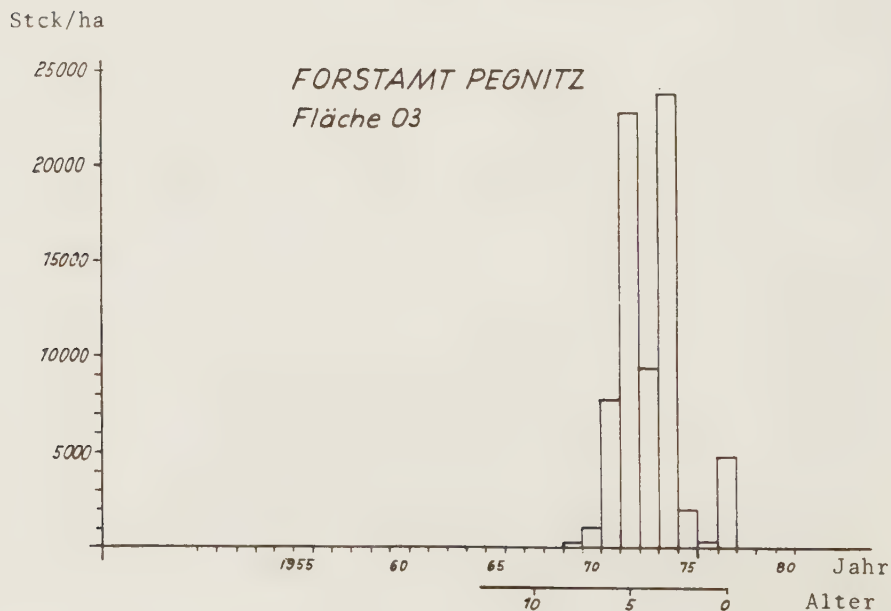
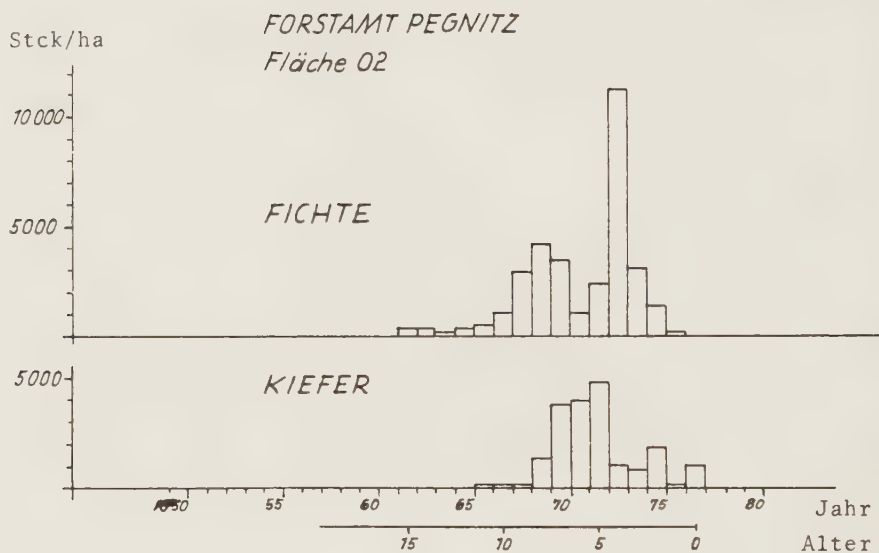
20000

15000

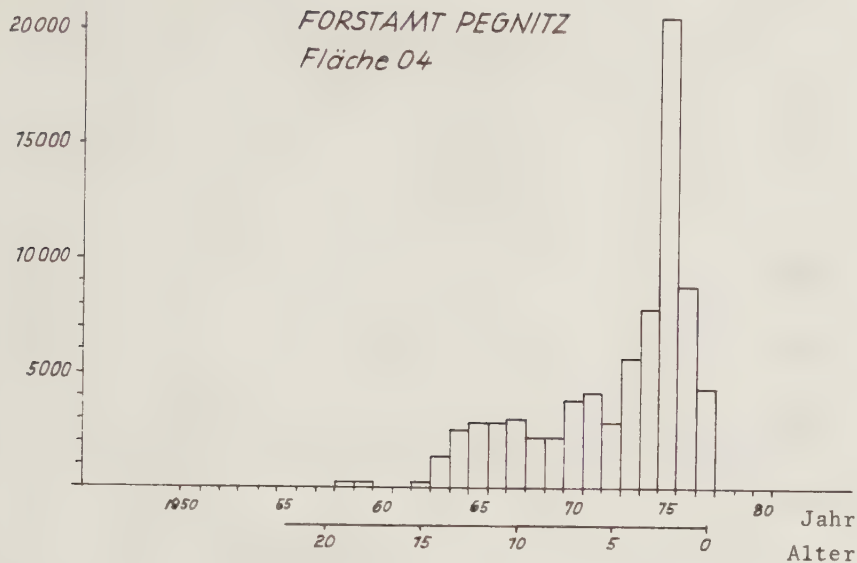
10000

5000

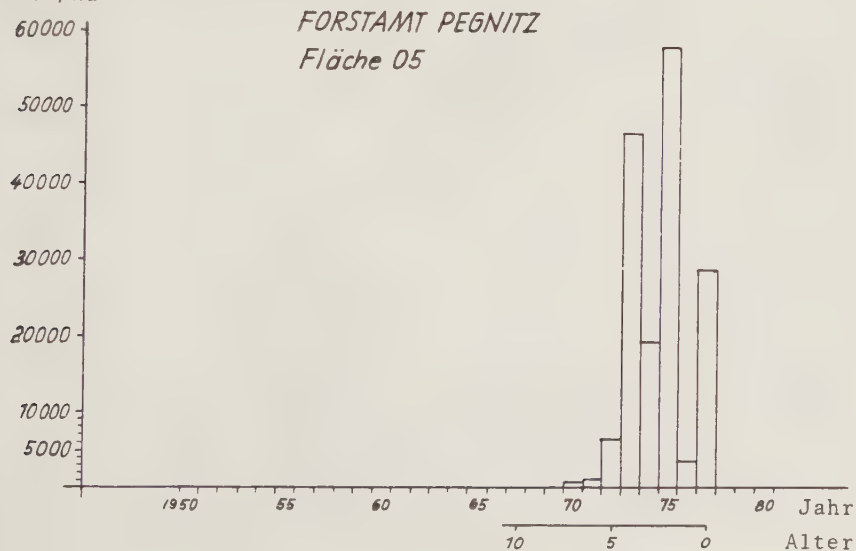




Stck/ha



Stck/ha



Stck/ha

FORSTAMT PEGNITZ

Fläche 06

30000

20000

15000

10000

5000

Kiefer

Fichte

1950

55

60

65

70

75

80

Jahr

15

10

5

0

Alter

Stck/ha

FORSTAMT SELB

Fläche 01

20000

15000

10000

5000

1950

55

60

65

70

75

80

Jahr

15

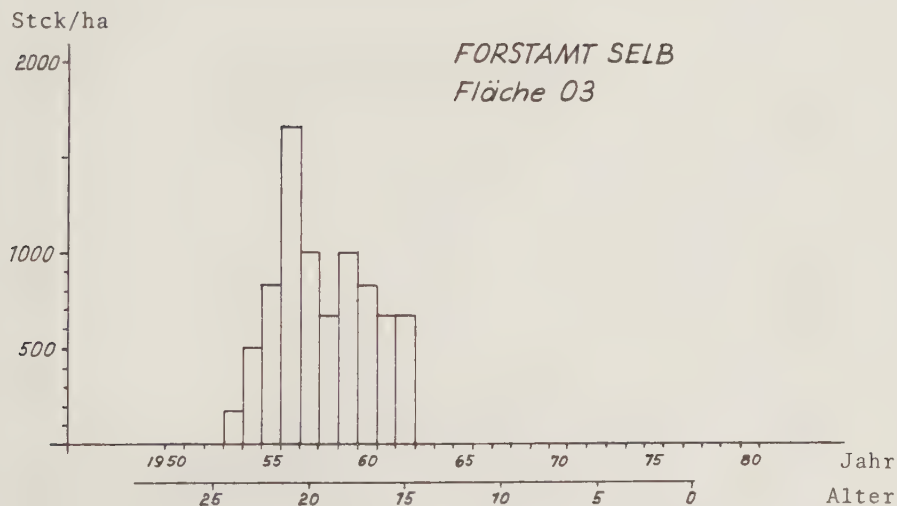
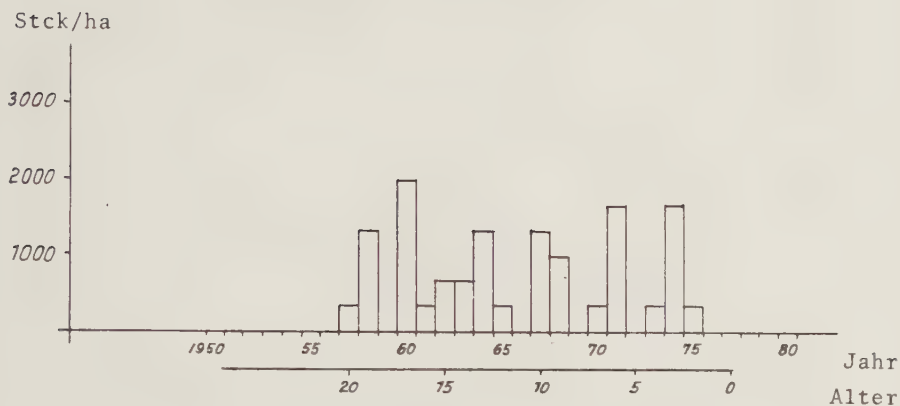
10

5

0

Alter

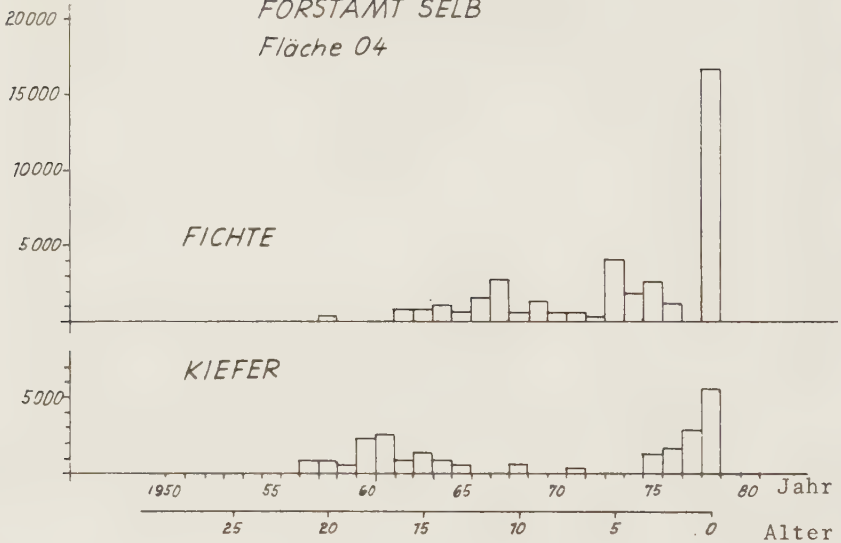
FORSTAMT SELB
Fläche 02



Stck/ha

FORSTAMT SELB

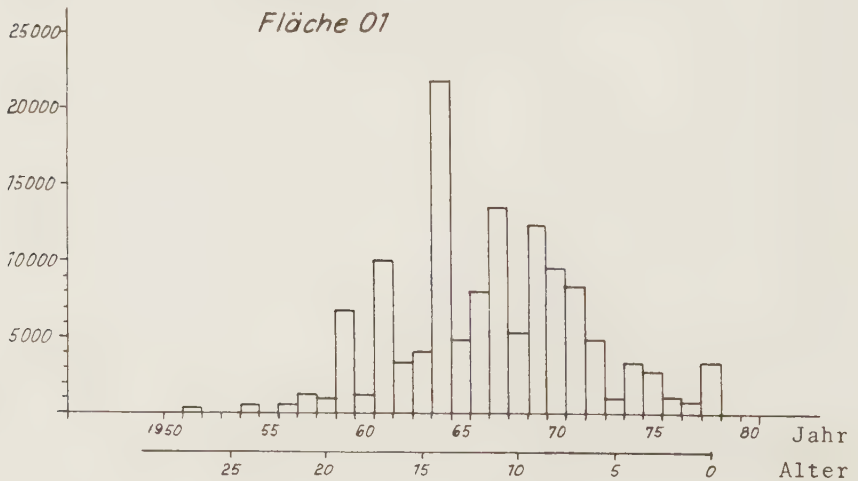
Fläche 04



Stck/ha

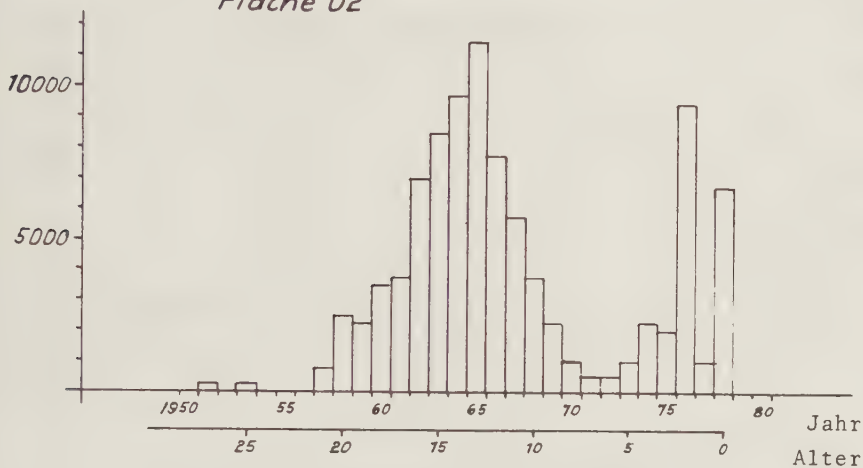
FORSTAMT BURGLENGENFELD

Fläche 01



Stck/ha

FORSTAMT BURGLENGENFELD
Fläche 02

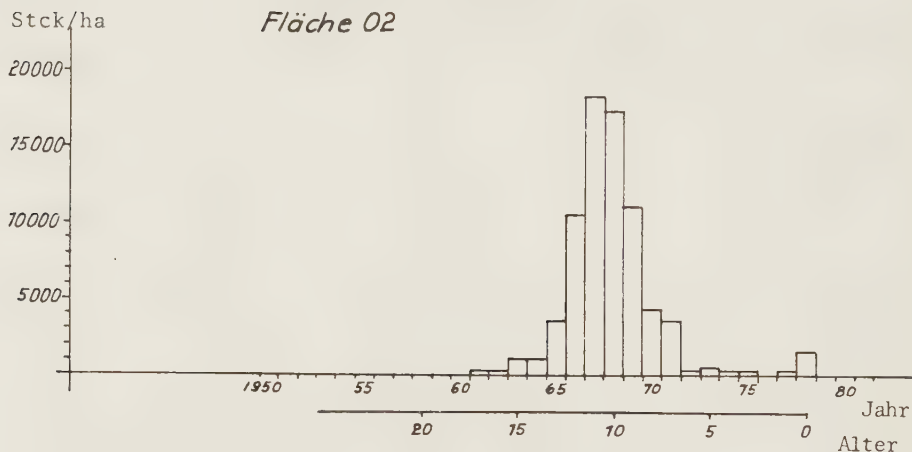


Stck/ha

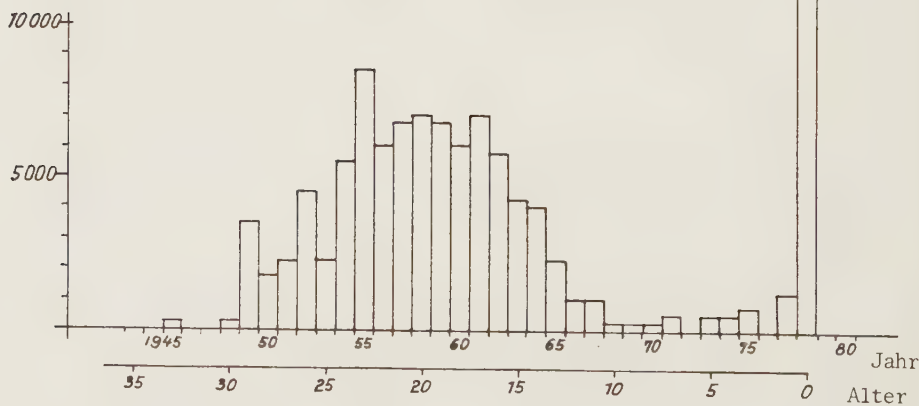
FORSTAMT MITTERTEICH
Fläche 01



FORSTAMT MITTERTEICH Fläche 02

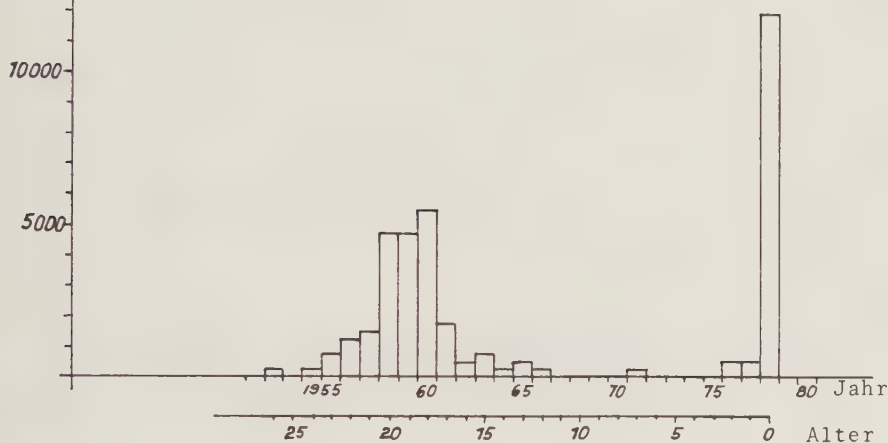


FORSTAMT WALDSASSEN Fläche 01



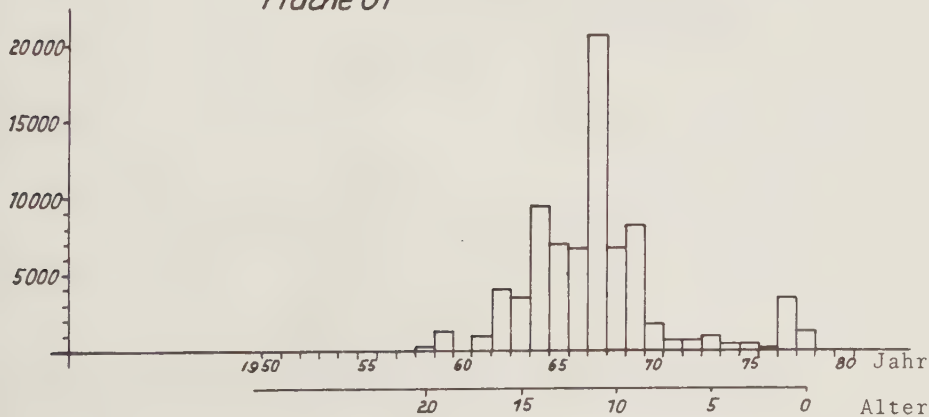
Stck/ha

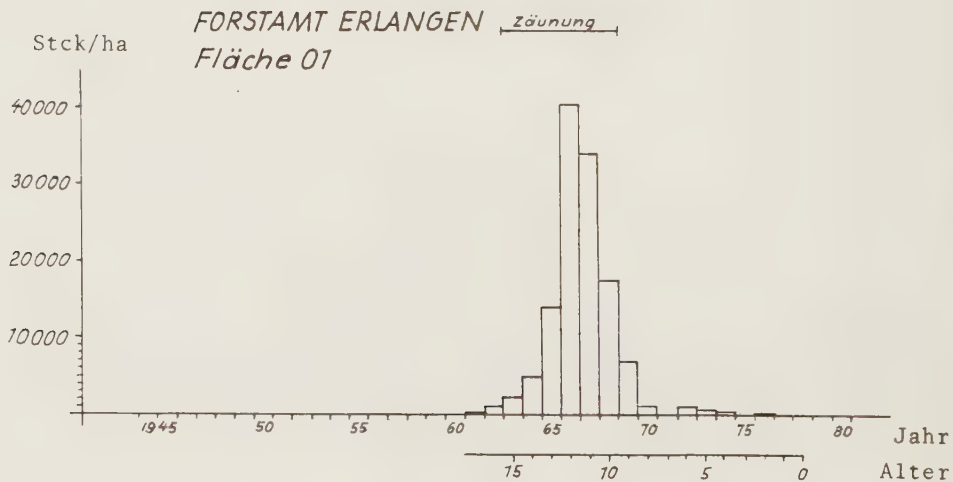
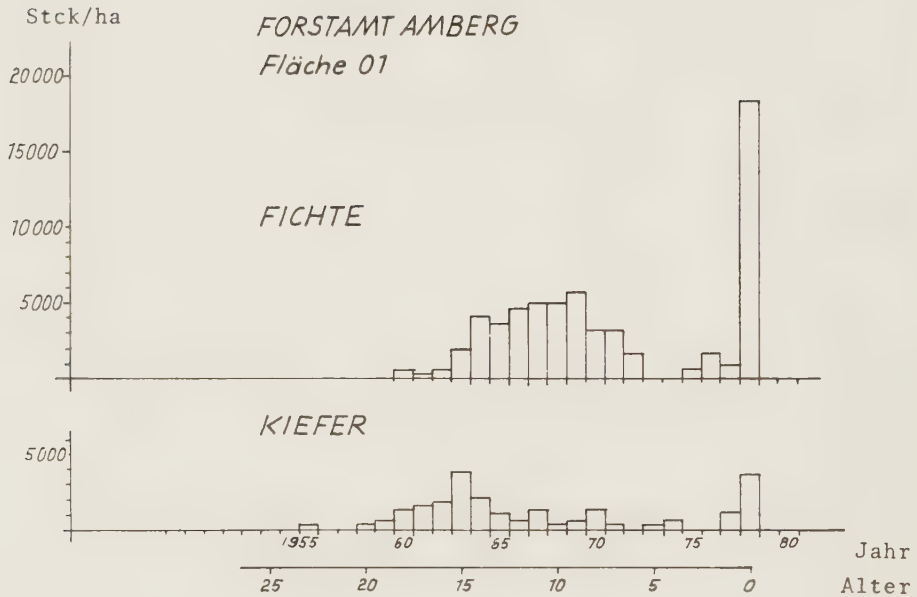
FORSTAMT WALDSASSEN
Fläche 02



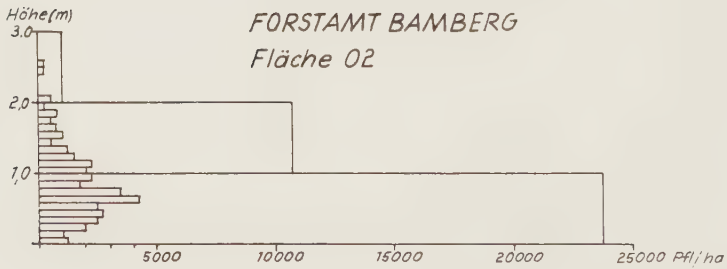
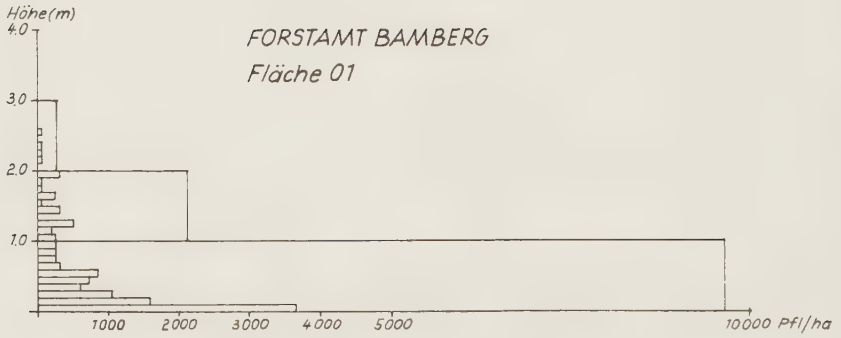
Stck/ha

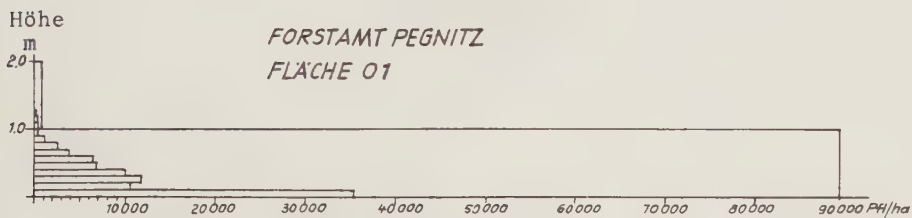
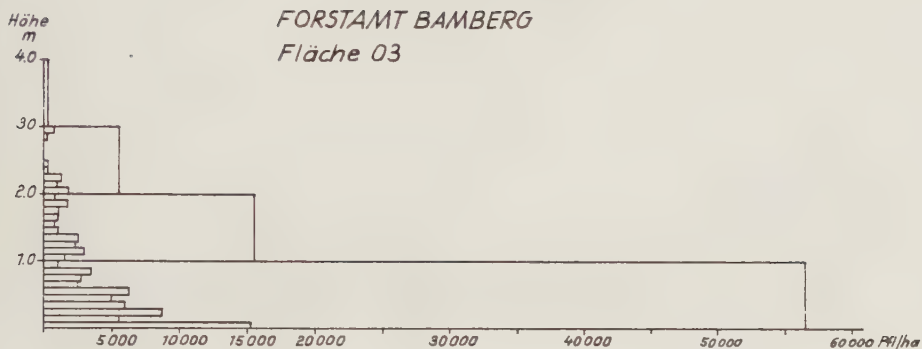
FORSTAMT PFREIMD
Fläche 01

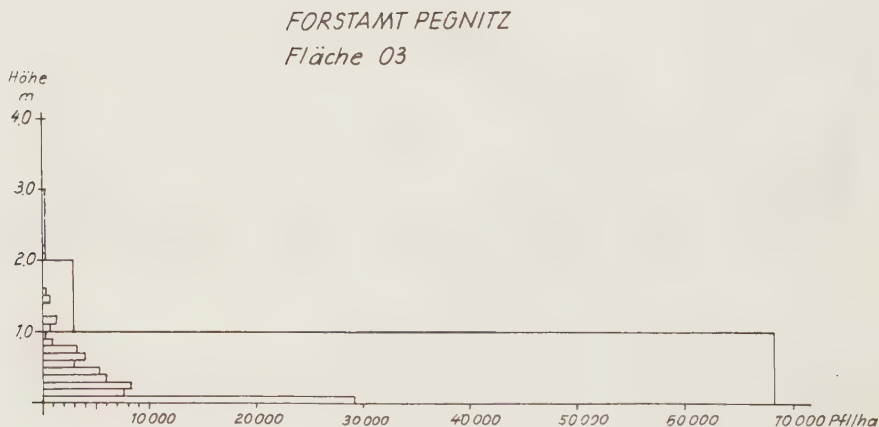




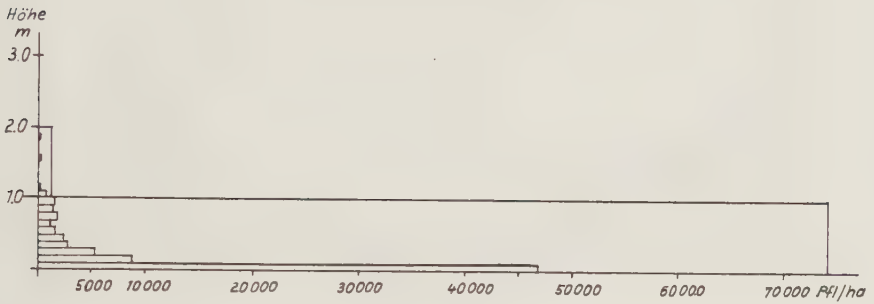
Anhang V: Verteilung der Jungkiefern nach der Höhe
auf den Naturverjüngungsflächen



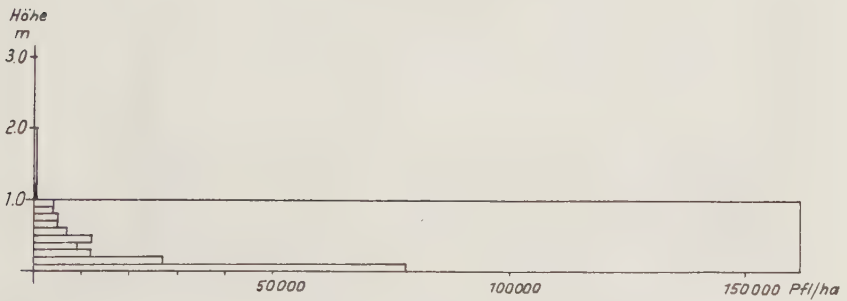


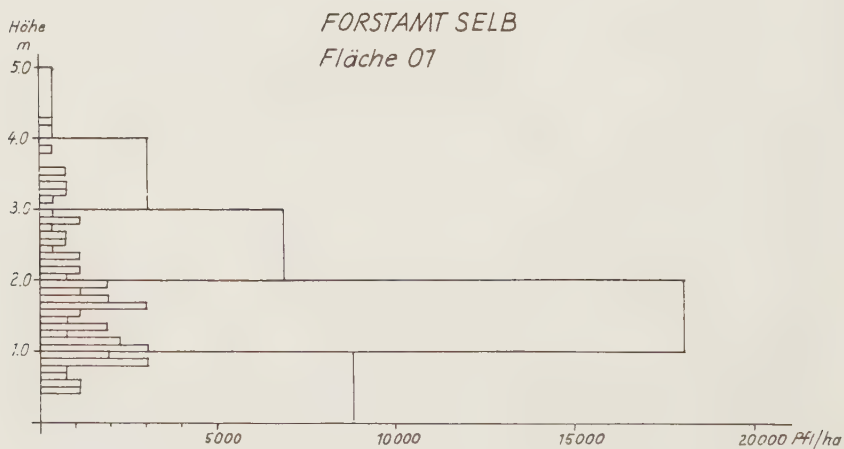
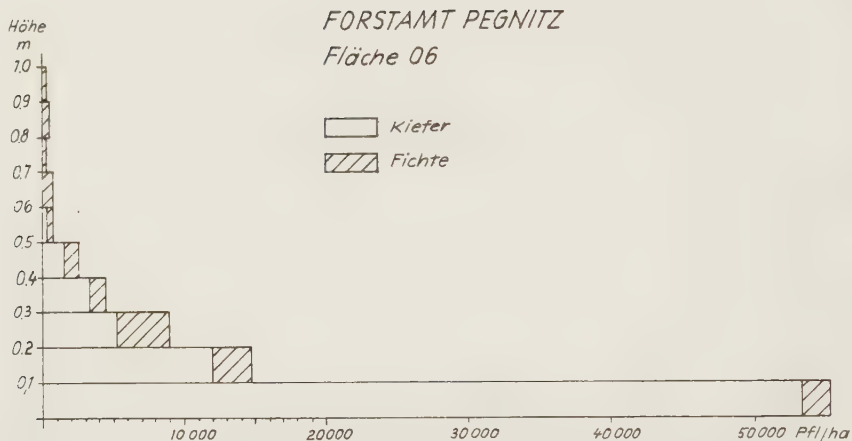


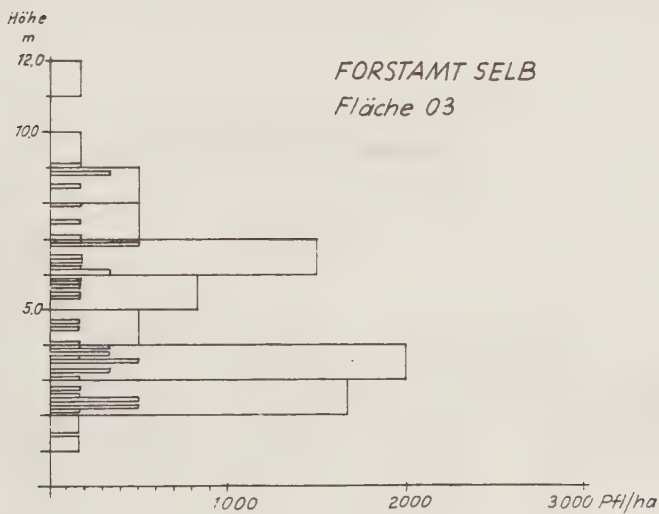
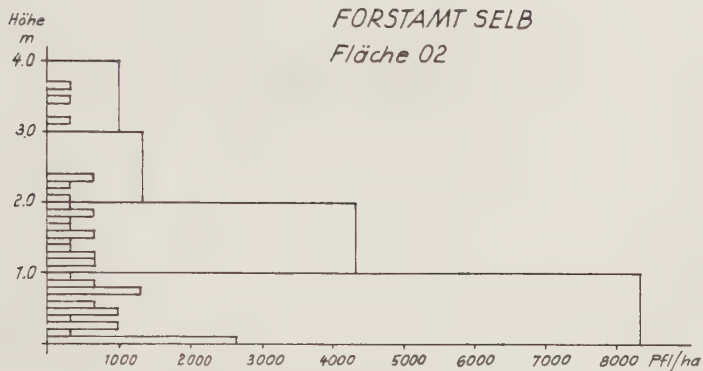
FORSTAMT PEGNITZ
Fläche 04

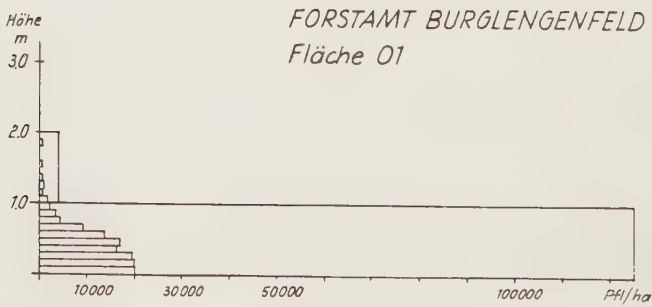
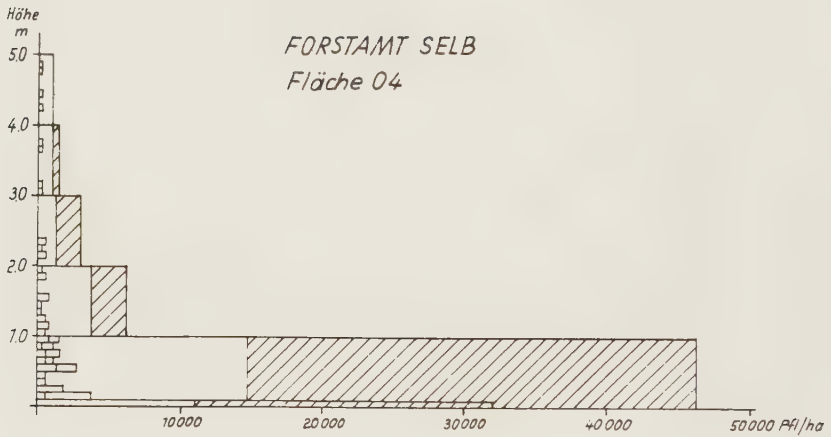


FORSTAMT PEGNITZ
Fläche 05



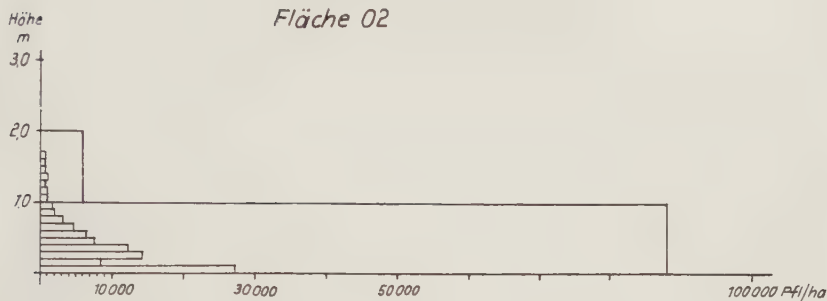






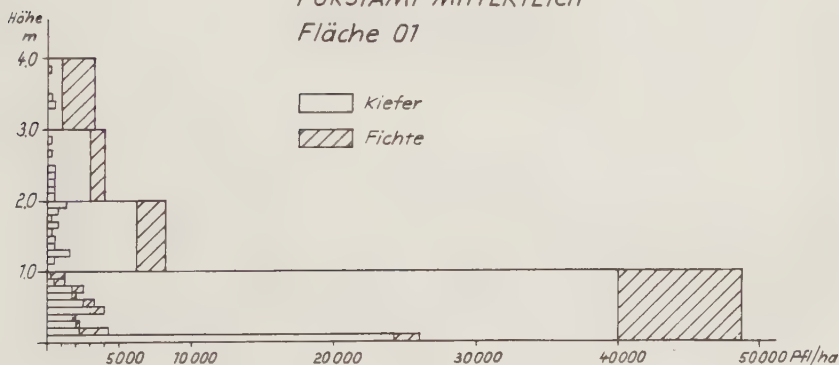
FORSTAMT BURGLENGENFELD

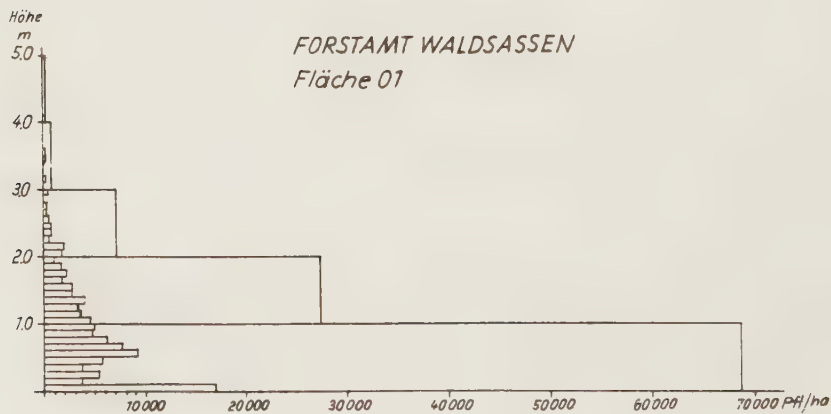
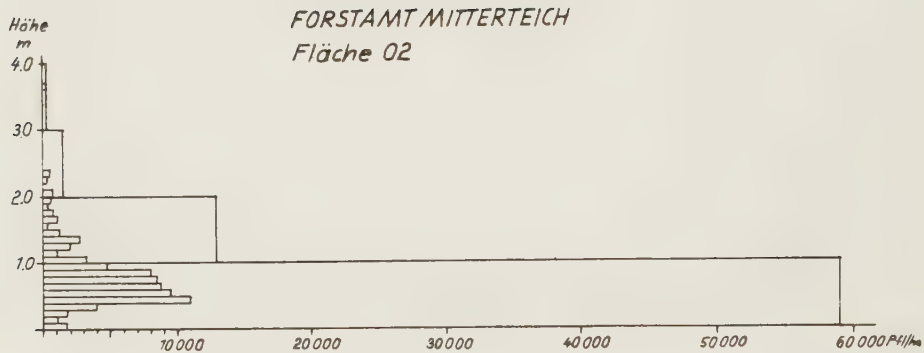
Fläche 02

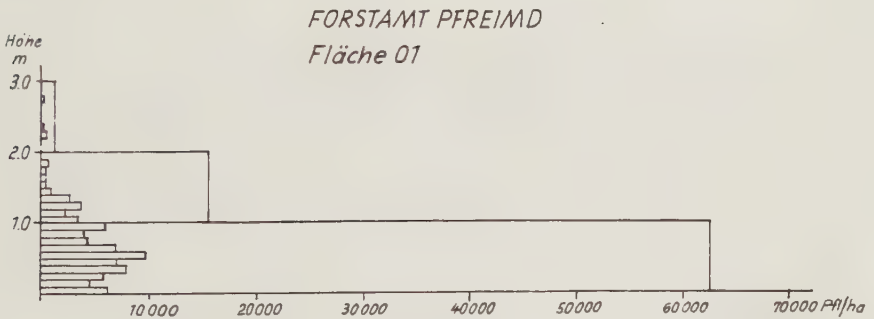
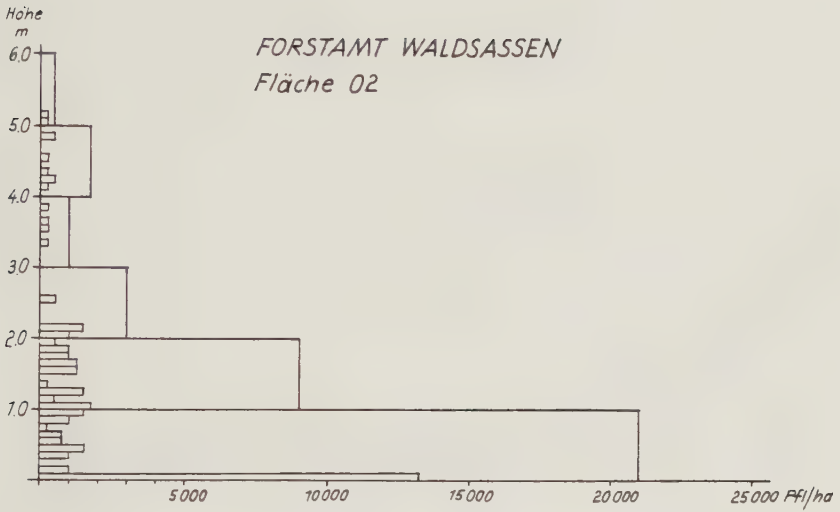


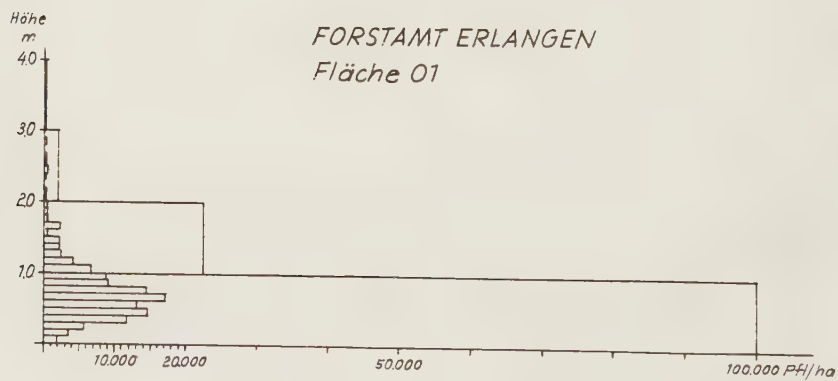
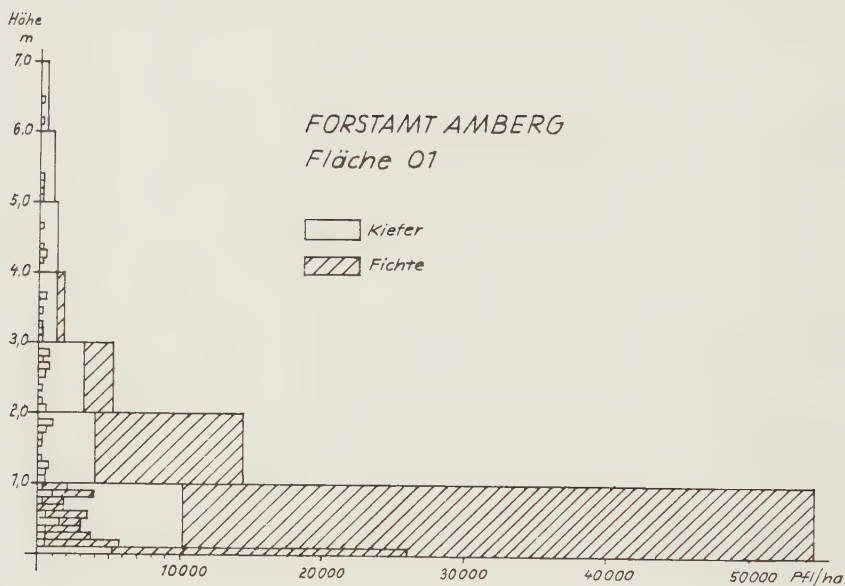
FORSTAMT MITTERTEICH

Fläche 01









L E B E N S L A U F

Am 12. August 1950 wurde ich, Rudi Arno Seitz, als Sohn des Feinmechanikers Wilhelm Siegfried Seitz und seiner Frau Ursula Seitz, geborene Alrutz, in Porto Alegre, Brasilien, geboren.

Die Volksschule und das Gymnasium besuchte ich von 1957 bis 1966 in Porto Alegre. Anschließend absolvierte ich von 1967 bis 1969 eine Schule für Landwirtschaftstechnik in Viamao, erwarb den Grad eines Técnico-Agrícola und setzte meine landwirtschaftliche Ausbildung an der Universidade Federal do Rio Grande do Sul fort. Dort schloß ich sie als Engenheiro Agronomo ab.

Danach, von März 1974 bis Mai 1976, studierte ich in Curitiba an der Universidade Federal do Paraná. Dieses Studium beendete ich nach Bestehen der Magisterprüfung für Forstwissenschaft.

Seit Mai 1976 bin ich im Rahmen des Partnerschaftsabkommens zwischen der Universidade Federal do Paraná und der Albert-Ludwig-Universität Freiburg i.Br. als brasilianischer Counterpart angestellt. Dadurch konnte ich, von der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit gefördert, im Oktober 1976 nach München kommen, um hier meine Promotion zu erlangen.

